

PATENT APPLICATION

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Application of

Docket No: Q77586

Pierre SILLARD, et al.

Appln. No.: 10/665,012

Group Art Unit: Not Assigned

Confirmation No.: 5841

Examiner: Not Assigned

Filed: September 18, 2003

For: A CHROMATIC DISPERSION COMPENSATION MODULE

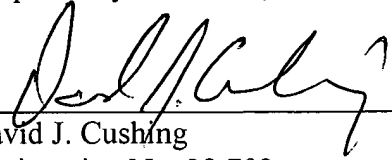
SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

Submitted herewith is a certified copy of the priority document on which a claim to priority was made under 35 U.S.C. § 119. The Examiner is respectfully requested to acknowledge receipt of said priority document.

Respectfully submitted,


David J. Cushing
Registration No. 28,703

SUGHRUE MION, PLLC
Telephone: (202) 293-7060
Facsimile: (202) 293-7860

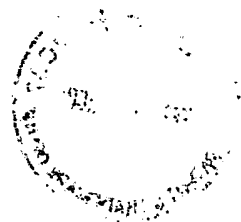
WASHINGTON OFFICE

23373

CUSTOMER NUMBER

Enclosures: France 0305223

Date: February 17, 2004



Q 77586
1 061

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 15 JUIL. 2003

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23
www.inpi.fr





26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



N° 11354*01

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DE 540 W / 26C399

REMISE DES PIÈCES DATE 29 AVRIL 2003 LIEU 75 INPI PARIS N° D'ENREGISTREMENT 0305223 NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE 29 AVR. 2003 PAR L'INPI		1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE COMPAGNIE FINANCIERE ALCATEL Département PI Régis VIGAND 5, rue Noël Pons 92734 Nanterre Cedex	
Vos références pour ce dossier (facultatif) 105169/RV/OFF/TPM		12	
Confirmation d'un dépôt par télécopie <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie			
2 NATURE DE LA DEMANDE		Cochez l'une des 4 cases suivantes	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
<i>Demande de brevet initiale</i> <i>ou demande de certificat d'utilité initiale</i>		N° _____ Date ____/____/____ N° _____ Date ____/____/____	
Transformation d'une demande de brevet européen <i>Demande de brevet initiale</i>		<input type="checkbox"/> N° _____ Date ____/____/____	
3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) MODULE DE COMPENSATION DE DISPERSION CHROMATIQUE			
4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
5 DEMANDEUR		<input type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
Nom ou dénomination sociale		ALCATEL	
Prénoms			
Forme juridique		Société Anonyme	
N° SIREN		5 . 4 . 2 . 0 . 1 . 9 . 0 . 9 . 6	
Code APE-NAF			
Adresse	Rue	54, rue La Boétie	
	Code postal et ville	75008 PARIS	
Pays		FRANCE	
Nationalité		Française	
N° de téléphone (facultatif)			
N° de télécopie (facultatif)			



BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 2/2

DB 540 W / 260899

REMISE DES PIÈCES DATE 29 AVRIL 2003 LIEU 75 INPI PARIS N° D'ENREGISTREMENT 0305223 NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		Réservé à l'INPI	
Vos références pour ce dossier : <i>(facultatif)</i>		105169/RV/OFF/TPM	
6 MANDATAIRE			
Nom		VIGAND	
Prénom		Régis	
Cabinet ou Société		Compagnie Financière Alcatel	
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel		PG 9222	
Adresse	Rue	5, rue Noël Pons	
	Code postal et ville	92734	NANTERRE Cedex
N° de téléphone <i>(facultatif)</i>			
N° de télécopie <i>(facultatif)</i>			
Adresse électronique <i>(facultatif)</i>			
7 INVENTEUR (S)			
Les inventeurs sont les demandeurs		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée	
8 RAPPORT DE RECHERCHE		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)	
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Paiement échelonné de la redevance		Paiement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	
9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention <i>(joindre un avis de non-imposition)</i> <input type="checkbox"/> Requête antérieurement à ce dépôt <i>(joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence)</i>	
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes			
10 SIGNATURE DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		Régis VIGAND / LC 40 B	
		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI L. MARIELLO	

MODULE DE COMPENSATION DE DISPERSION CHROMATIQUE

L'invention concerne le domaine des modules de compensation de dispersion chromatique. Pour les fibres optiques, on parlera indifféremment
5 d'atténuation ou de coefficient d'atténuation.

Dans une partie des réseaux de transmission par fibre optique utilisant le multiplexage en longueur d'onde WDM (WDM signifie « wavelength division multiplexing » en langue anglo-saxonne), contenant des fibres optiques de ligne dans lesquelles se propage un signal optique, il n'existe pas de moyen de
10 compensation de la dispersion chromatique de ces fibres optiques de ligne. En effet, lorsque le débit est faible, par exemple 2.5 Gbps par canal, il n'est pas nécessaire de compenser la dispersion chromatique des fibres optiques de ligne. Par contre, lorsque le débit augmente et devient élevé, par exemple 10 Gbps par canal, une compensation à la fois de la dispersion chromatique et de la pente de
15 dispersion chromatique des fibres optiques de ligne deviennent nécessaires. Généralement, la fibre optique de ligne présente une dispersion chromatique et une pente de dispersion chromatique qui sont positives. Par conséquent, la fibre optique de compensation de dispersion chromatique présentera généralement une dispersion chromatique et une pente de dispersion chromatique qui sont
20 négatives. La fibre optique de compensation de dispersion chromatique peut être intégrée dans un module de compensation de dispersion chromatique. La plage spectrale à compenser au niveau dispersion chromatique peut notamment inclure une ou plusieurs des bandes C, L et S.

Le signal optique va se propager dans la fibre optique de compensation
25 de dispersion chromatique. Lors de sa propagation dans la fibre optique de compensation de dispersion chromatique, le signal optique est susceptible de subir des détériorations comme par exemple une diminution du rapport signal à bruit et ou une augmentation des effets non linéaires. Pour compenser la dispersion chromatique d'un tronçon de fibre optique de ligne mesurant généralement
30 plusieurs dizaines de kilomètres, le module de compensation de dispersion

chromatique présente des pertes d'insertion qui sont généralement relativement élevées, de l'ordre de plusieurs dB. En raison de l'importance de ses pertes d'insertion, le module de compensation de dispersion chromatique est généralement placé au milieu d'un dispositif d'amplification à double étage, c'est-à-dire entre deux amplificateurs.

Pour que ce dispositif d'amplification à double étage présente un bon rapport signal à bruit optique et une bonne platitude spectrale de gain, ce dispositif d'amplification à double étage présente d'une part un gain du premier amplificateur qui est élevé, ce qui donne une puissance optique en sortie de ce premier amplificateur qui est élevée, et d'autre part un niveau de pertes entre les deux amplificateurs qui est fixe.

La fibre optique de compensation de dispersion chromatique intégrée dans le module de compensation de dispersion chromatique est une fibre optique monomode laquelle présente une faible surface effective comprise entre $10\mu\text{m}^2$ et $35\mu\text{m}^2$, ce qui la rend très fortement sensible aux effets non linéaires. Il est intéressant de limiter la puissance optique d'entrée dans cette fibre optique monomode de compensation de dispersion chromatique afin de préserver une bonne qualité de transmission du signal optique. Pour cela, un atténuateur est placé entre le premier amplificateur et le module de compensation de dispersion chromatique. Cet atténuateur contrôle également la platitude spectrale de gain. Cet atténuateur peut être remplacé par un composant de routage de longueurs d'ondes ou par tout autre composant optique qui a des pertes et qui peut donc, comme l'atténuateur, limiter la puissance optique d'entrée dans le module de compensation de dispersion chromatique.

Le problème est de réaliser un module de compensation de dispersion chromatique présentant la meilleure qualité possible, tout en limitant son coût, c'est-à-dire le meilleur rapport qualité prix possible pour le module de compensation de dispersion chromatique. Comment évaluer la qualité, le coût et le rapport qualité prix d'un module de compensation de dispersion chromatique ?

Selon un premier art antérieur, il est connu d'essayer de diminuer le plus possible les pertes d'insertion du module de compensation, et pour cela notamment d'augmenter le plus possible le facteur de mérite de la fibre optique de compensation, ce qui malheureusement augmente beaucoup le coût de réalisation de la fibre optique de compensation et par conséquent du module de compensation. Au fur et à mesure que la qualité du module de compensation augmente, le prix augmente encore plus vite, et par conséquent le rapport qualité prix se dégrade.

Selon un deuxième art antérieur, décrit par exemple dans l'article « Design optimization of dispersion compensating fiber for NZ-DSF considering nonlinearity and packaging performance » écrit par « T.Kato, M.Hirano, K. Fukuda, A. Tada, M. Onishi et M. Nishimura » et présenté à la conférence « OFC 2001 », il est connu d'essayer de diminuer le plus possible la phase non linéaire du module de compensation, et pour cela notamment d'augmenter le plus possible le facteur de mérite de la fibre optique de compensation, ce qui malheureusement augmente beaucoup le coût de réalisation de la fibre optique de compensation et par conséquent du module de compensation. Au fur et à mesure que la qualité du module de compensation augmente, le prix augmente encore plus vite, et par conséquent le rapport qualité prix se dégrade.

Dans l'art antérieur, il existe des modules de compensation médiocres à prix raisonnables et de bons modules de compensation à prix exorbitants. Le but de l'invention est d'améliorer le rapport qualité prix des modules de compensation, et notamment de proposer de bons modules à prix raisonnables.

Les méthodes d'amélioration de la qualité d'un module de compensation selon l'art antérieur reposent sur l'amélioration unilatérale d'un paramètre partiellement représentatif de la qualité du module de compensation. Cette amélioration unilatérale d'un seul paramètre partiellement représentatif de la qualité du module de compensation, que ce soit les pertes d'insertion ou bien la phase non linéaire, a deux conséquences. Tout d'abord elle augmente le prix du module de compensation. Ensuite elle a tendance à dégrader l'autre paramètre

partiellement représentatif de la qualité du module de compensation, ce qui augmente pas ou peu ou moins que souhaité, la qualité du module de compensation. Certes, une augmentation très importante du facteur de mérite de la fibre optique de compensation se traduira toujours par une augmentation plus
5 ou moins importante de la qualité du module de compensation, mais aussi par un augmentation très importante du coût du module de compensation, d'où une dégradation du rapport qualité prix du module de compensation.

La méthode d'amélioration de la qualité d'un module de compensation selon l'invention est totalement différente. Tout d'abord cette méthode crée un
10 critère de qualité globalement représentatif de la qualité d'un module de compensation, qui intègre, en les pondérant, les contributions d'une part des pertes d'insertion et d'autre part des effets non linéaires. La contribution des pertes d'insertion correspond aux pertes d'insertion classiques avec la différence de les ramener à une compensation complète de la fibre optique de ligne, tandis que la
15 contribution des effets non linéaires est obtenue par l'intermédiaire d'un critère de non linéarité lié à la phase non linéaire mais distinct de la phase non linéaire. Ce critère de non linéarité est obtenue par une simplification astucieuse de la phase non linéaire prenant en compte l'aspect constant du niveau de pertes entre les deux amplificateurs du dispositif d'amplification à double étage. D'une part,
20 l'optimisation de ce critère de qualité original peut être réalisée à facteur de mérite de la fibre optique de compensation choisi constant, ce qui permet d'améliorer la qualité du module de compensation à coût constant, donc d'améliorer le rapport qualité prix du module de compensation. Pour cela, de manière tout à fait originale et un peu paradoxale, à facteur de mérite constant de la fibre optique de
25 compensation, l'invention montre qu'il est avantageux d'augmenter l'atténuation de la fibre optique de compensation. En effet, à facteur de mérite constant, les pertes d'insertion restent identiques tandis que l'augmentation de l'atténuation améliore beaucoup le critère de non linéarité. Le critère de qualité montre également de manière encore plus paradoxale qu'il peut être intéressant de
30 dégrader un peu le facteur de mérite de la fibre optique et par conséquent les

pertes d'insertion, à condition de diminuer la dispersion chromatique négative de la fibre optique de compensation tout en diminuant le facteur de mérite de la fibre optique de compensation, ce qui revient à augmenter beaucoup l'atténuation de la fibre optique de compensation, dans la mesure où cela permet d'améliorer
5 beaucoup le critère de non linéarité et ainsi de compenser largement la dégradation des pertes d'insertion. Ceci est toujours avantageux, mais spécialement dans le cas d'un dispositif d'amplification à double étage comme présenté ci-dessus, car dans ce cas la légère dégradation des pertes d'insertion ne se traduit par aucune dégradation du signal optique, mais seulement par une
10 atténuation moindre de l'atténuateur, donc par un signal d'entrée dans la fibre optique de compensation plus élevé, ce qui est très bien supporté par la fibre optique de compensation puisque celle-ci a une résistance aux effets non linéaires qui a été nettement améliorée. L'invention a également créé un critère de rapport qualité prix qui intègre le surcoût entraîné par une augmentation du facteur de
15 mérite de la fibre optique de compensation, ce qui permet de vérifier que toute augmentation du facteur de mérite de la fibre optique de compensation se traduit par une augmentation comparable de la qualité du module de compensation. Pour cela, l'augmentation de facteur de mérite, à condition qu'elle se réalise beaucoup plus par une diminution de la dispersion chromatique négative de la
20 fibre optique de compensation qu'une diminution de l'atténuation de la fibre optique de compensation, et de préférence lorsque cette augmentation du facteur de mérite de la fibre optique de compensation se réalise à la fois par une diminution de la dispersion chromatique de la fibre optique de compensation et par une augmentation importante de l'atténuation de la fibre optique de
25 compensation, permet d'améliorer la qualité bien sûr, mais également le rapport qualité prix, c'est-à-dire d'augmenter nettement plus la qualité que le prix.

L'invention propose donc un procédé de conception de module de compensation, ainsi que deux modules de compensation, l'un adapté à la compensation d'une fibre optique de ligne monomode standard (« standard SMF »
30 pour « standard single-mode fiber » en langue anglo-saxonne) et l'autre adapté à

la compensation d'une fibre optique de ligne monomode à dispersion décalée non nulle (« NZ-DSF » pour « non-zero dispersion-shifted fiber » en langue anglo-saxonne), c'est-à-dire à dispersion décalée par rapport à la fibre optique monomode standard et à dispersion non nulle à la longueur d'onde de 1550nm.

5 Selon l'invention, il est prévu un procédé de conception d'un module de compensation de dispersion chromatique, ledit module étant destiné à comporter, un boîtier comprenant une borne d'entrée et une borne de sortie, une ligne optique de compensation de dispersion chromatique comprenant une ou plusieurs fibres optiques monomodes de compensation de dispersion chromatique en série,
10 ne comprenant aucune fibre optique multimode HOM, étant située dans le boîtier et reliant la borne d'entrée à la borne de sortie, ledit module étant destiné à être introduit, par l'intermédiaire des bornes d'entrée et de sortie, dans une ligne de transmission comprenant une fibre optique de ligne monomode destinée à transmettre des informations dans un domaine spectral d'utilisation, la borne
15 d'entrée introduisant dans la ligne de transmission une perte d'entrée Γ_{in} exprimée en dB, la borne de sortie introduisant dans la ligne de transmission une perte de sortie Γ_{out} exprimée en dB, d'éventuelles connexions supplémentaires entre fibres optiques de compensation introduisant ensemble dans la ligne de transmission une perte de connexion Γ_{inter} exprimée en dB, la fibre optique de compensation ou
20 l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présentant, à une longueur d'onde valant 1550nm, plusieurs paramètres moyens dont, un coefficient moyen d'atténuation α_{DCF} exprimé en dB/km, une dispersion chromatique moyenne négative D_{DCF} exprimée en ps/nm-km, une pente de dispersion chromatique moyenne négative S_{DCF} exprimée en ps/nm²-km, un
25 rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique valant D_{DCF}/S_{DCF} et étant exprimé en nm, un facteur de mérite moyen FOM_{DCF} valant $-D_{DCF}/\alpha_{DCF}$ et étant exprimé en ps/nm-dB, une surface effective moyenne A_{eff} exprimée en μm^2 , un coefficient moyen n_2 du deuxième ordre de l'indice de réfraction en fonction de l'intensité exprimé en $10^{-20} m^2/W$, le rapport moyen
30 dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique valant le rapport

entre la dispersion chromatique moyenne et la pente de dispersion chromatique moyenne, le facteur de mérite moyen valant l'opposé du rapport entre la dispersion chromatique moyenne et le coefficient moyen d'atténuation, le coefficient moyen d'atténuation dans le cas d'une unique fibre optique de compensation étant confondu avec le coefficient d'atténuation correspondant de ladite fibre optique unique de compensation, et le coefficient moyen d'atténuation dans le cas d'un ensemble de fibres optiques de compensation en série valant la somme entre d'une part la moyenne arithmétique des coefficients d'atténuation pondérés par les longueurs respectives desdites différentes fibres optiques de compensation et d'autre part le rapport entre la perte de connexion et la somme des longueurs desdites différentes fibres optiques de compensation, chacun desdits autres paramètres moyens dans le cas d'une unique fibre optique de compensation étant confondu avec le paramètre correspondant de ladite fibre optique unique de compensation, et chacun desdits autres paramètres moyens dans le cas d'un ensemble de fibres optiques de compensation en série valant la moyenne arithmétique des paramètres correspondants des différentes fibres optiques de compensation ayant été pondérés par les longueurs respectives desdites différentes fibres optiques de compensation, ledit module étant destiné à présenter des pertes d'insertion IL exprimées en dB, avec

$$IL = \frac{D_{DCM}}{D_{DCF}} \cdot \alpha_{DCF} + \Gamma_{in} + \Gamma_{out} \text{ et avec } D_{DCM} \text{ représentant l'opposé de la dispersion}$$

cumulée de la fibre optique de ligne, ledit module étant destiné à présenter un critère de non linéarité NLC représentant les effets de la phase non linéaire et

$$\text{étant exprimé en } 10^{-6} \text{ km/W-dB, avec } NLC = \frac{100 \cdot n_2 \cdot (1 - 10^{\frac{D_{DCM}}{10 \cdot FOM_{DCF}}})}{A_{eff} \cdot \alpha_{DCF} \cdot 10^{10}}, \text{ ledit module}$$

étant destiné à présenter un critère de qualité CQ exprimé en dB, avec $CQ = IL + 10 \log NLC$, ledit procédé de conception comprenant une étape d'optimisation dudit module, ladite étape d'optimisation consistant à diminuer le

critère de qualité, à facteur de mérite moyen choisi constant, en augmentant l'atténuation moyenne.

Selon l'invention, pour compenser une fibre optique de ligne monomode standard, il est aussi prévu un module de compensation de dispersion chromatique comportant, un boîtier comprenant une borne d'entrée et une borne de sortie, une ligne optique de compensation de dispersion chromatique comprenant une ou plusieurs fibres optiques monomodes de compensation de dispersion chromatique en série, ne comprenant aucune fibre optique multimode HOM, étant située dans le boîtier et reliant la borne d'entrée à la borne de sortie, le module étant destiné à être introduit, par l'intermédiaire des bornes d'entrée et de sortie, dans une ligne de transmission comprenant une fibre optique de ligne monomode standard destinée à transmettre des informations dans un domaine spectral d'utilisation, la borne d'entrée introduisant dans la ligne de transmission une perte d'entrée Γ_{in} exprimée en dB, la borne de sortie introduisant dans la ligne de transmission une perte de sortie Γ_{out} exprimée en dB, d'éventuelles connexions supplémentaires entre fibres optiques de compensation introduisant ensemble dans la ligne de transmission une perte de connexion Γ_{inter} exprimée en dB, la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présentant, à une longueur d'onde valant 1550nm, plusieurs paramètres moyens dont, un coefficient moyen d'atténuation α_{DCF} exprimé en dB/km, une dispersion chromatique moyenne négative D_{DCF} exprimée en ps/nm-km, une pente de dispersion chromatique moyenne négative S_{DCF} exprimée en ps/nm²-km, un rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique valant D_{DCF}/S_{DCF} et étant exprimé en nm, un facteur de mérite moyen FOM_{DCF} valant $-D_{DCF}/\alpha_{DCF}$ et étant exprimé en ps/nm-dB, une surface effective moyenne A_{eff} exprimée en μm^2 , un coefficient moyen n_2 du deuxième ordre de l'indice de réfraction en fonction de l'intensité exprimé en $10^{-20}\text{m}^2/\text{W}$, le rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique valant le rapport entre la dispersion chromatique moyenne et la pente de dispersion chromatique moyenne, le facteur de mérite moyen valant l'opposé du rapport entre la

dispersion chromatique moyenne et le coefficient moyen d'atténuation, le coefficient moyen d'atténuation dans le cas d'une unique fibre optique de compensation étant confondu avec le coefficient d'atténuation correspondant de ladite fibre optique unique de compensation, et le coefficient moyen d'atténuation

5 dans le cas d'un ensemble de fibres optiques de compensation en série valant la somme entre d'une part la moyenne arithmétique des coefficients d'atténuation correspondants des différentes fibres optiques de compensation ayant été pondérés par les longueurs respectives desdites différentes fibres optiques de compensation et d'autre part le rapport entre la perte de connexion et la somme

10 des longueurs desdites différentes fibres optiques de compensation, chacun desdits autres paramètres moyens dans le cas d'une unique fibre optique de compensation étant confondu avec le paramètre correspondant de ladite fibre optique unique de compensation, et chacun desdits autres paramètres moyens dans le cas d'un ensemble de fibres optiques de compensation en série valant la

15 moyenne arithmétique des paramètres correspondants des différentes fibres optiques de compensation ayant été pondérés par les longueurs respectives desdites différentes fibres optiques de compensation, le module présentant des pertes d'insertion IL exprimées en dB, avec $IL = \frac{D_{DCM}}{D_{DCF}} \cdot \alpha_{DCF} + \Gamma_{in} + \Gamma_{out}$ et avec $D_{DCM} = -1360 \text{ ps/nm}$, le module présentant un critère de non linéarité NLC

20 représentant les effets de la phase non linéaire et étant exprimé en 10^{-6} km/W-dB , avec $NLC = \frac{100 \cdot n_2 \cdot (1 - 10^{\frac{D_{DCM}}{10 \cdot FOM_{DCF}}})}{A_{eff} \cdot \alpha_{DCF} \cdot 10^{\frac{\Gamma_{in}}{10}}}$, le module présentant un critère de qualité CQ exprimé en dB, avec $CQ = IL + 10 \log NLC$, le module présentant un critère de rapport qualité prix $CQ2$ exprimé en dB, avec $CQ2 = CQ + B \log(FOM_{DCF})$ et avec $B=18$, la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de

25 compensation en série présentant, premièrement une dispersion chromatique moyenne inférieure à -130 ps/nm-km , deuxièmement un rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique compris entre 240 nm

et 400nm, troisièmement, pour un facteur de mérite moyen donné, une atténuation moyenne suffisamment élevée pour que d'une part le critère de qualité soit inférieur à 20.5dB et d'autre part le critère de rapport qualité prix soit inférieur à 61.3dB.

- 5 Selon l'invention, pour compenser une fibre optique de ligne monomode à dispersion décalée non nulle, il est aussi prévu un module de compensation de dispersion chromatique comportant, un boîtier comprenant une borne d'entrée et une borne de sortie, une ligne optique de compensation de dispersion chromatique comprenant une ou plusieurs fibres optiques monomodes de
- 10 compensation de dispersion chromatique en série, ne comprenant aucune fibre optique multimode HOM, étant située dans le boîtier et reliant la borne d'entrée à la borne de sortie, le module étant destiné à être introduit, par l'intermédiaire des bornes d'entrée et de sortie, dans une ligne de transmission comprenant une fibre optique de ligne monomode à dispersion décalée non nulle à 1550nm et destinée
- 15 à transmettre des informations dans un domaine spectral d'utilisation, la borne d'entrée introduisant dans la ligne de transmission une perte d'entrée Γ_{in} exprimée en dB, la borne de sortie introduisant dans la ligne de transmission une perte de sortie Γ_{out} exprimée en dB, d'éventuelles connexions supplémentaires entre fibres optiques de compensation introduisant ensemble dans la ligne de transmission
- 20 une perte de connexion Γ_{inter} exprimée en dB, la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présentant, à une longueur d'onde valant 1550nm, plusieurs paramètres moyens dont, un coefficient moyen d'atténuation α_{DCF} exprimé en dB/km, une dispersion chromatique moyenne négative D_{DCF} exprimée en ps/nm-km, une pente de
- 25 dispersion chromatique moyenne négative S_{DCF} exprimée en ps/nm²-km, un rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique valant D_{DCF}/S_{DCF} et étant exprimé en nm, un facteur de mérite moyen FOM_{DCF} valant $-D_{DCF}/\alpha_{DCF}$ et étant exprimé en ps/nm-dB, une surface effective moyenne A_{eff} exprimée en μm^2 , un coefficient moyen n_2 du deuxième ordre de l'indice de
- 30 réfraction en fonction de l'intensité exprimé en $10^{-20} m^2/W$, le rapport moyen

dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique valant le rapport entre la dispersion chromatique moyenne et la pente de dispersion chromatique moyenne, le facteur de mérite moyen valant l'opposé du rapport entre la dispersion chromatique moyenne et le coefficient moyen d'atténuation, le

5 coefficient moyen d'atténuation dans le cas d'une unique fibre optique de compensation étant confondu avec le coefficient d'atténuation correspondant de ladite fibre optique unique de compensation, et le coefficient moyen d'atténuation dans le cas d'un ensemble de fibres optiques de compensation en série valant la

10 somme entre d'une part la moyenne arithmétique des coefficients d'atténuation correspondants des différentes fibres optiques de compensation ayant été pondérés par les longueurs respectives desdites différentes fibres optiques de compensation et d'autre part le rapport entre la perte de connexion et la somme des longueurs desdites différentes fibres optiques de compensation, chacun desdits

15 autres paramètres moyens dans le cas d'une unique fibre optique de compensation étant confondu avec le paramètre correspondant de ladite fibre optique unique de compensation, et chacun desdits autres paramètres moyens dans le cas d'un ensemble de fibres optiques de compensation en série valant la moyenne arithmétique des paramètres correspondants des différentes fibres optiques de compensation ayant été pondérés par les longueurs respectives

20 desdites différentes fibres optiques de compensation, le module présentant des pertes d'insertion IL exprimées en dB, avec $IL = \frac{D_{DCM}}{D_{DCF}} \cdot \alpha_{DCF} + \Gamma_{in} + \Gamma_{out}$ et avec $D_{DCM} = -680 \text{ ps/nm}$, le module présentant un critère de non linéarité NLC représentant les effets de la phase non linéaire et étant exprimé en 10^{-6} km/W-dB ,

avec $NLC = \frac{100 \cdot n_2 \cdot (1 - 10^{\frac{D_{DCM}}{10 \cdot FOM_{DCF}}})}{A_{eff} \cdot \alpha_{DCF} \cdot 10^{10}}$, le module présentant un critère de qualité CQ

25 exprimé en dB, avec $CQ = IL + 10 \log NLC$, le module présentant un critère de rapport qualité prix $CQ2$ exprimé en dB, avec $CQ2 = CQ + B \log(FOM_{DCF})$ et avec $B=23$, la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de



compensation en série présentant, premièrement une dispersion chromatique moyenne inférieure à -115 ps/nm-km , deuxièmement, pour un facteur de mérite moyen donné, une atténuation moyenne suffisamment élevée pour que d'une part le critère de qualité soit inférieur à 18dB et d'autre part le critère de rapport
5 qualité prix soit inférieur à 66.6dB.

Les critères de qualité et de rapport qualité prix, quoique moins pertinents dans le cadre d'une utilisation avec un dispositif d'amplification et de compensation autre que le dispositif d'amplification et de compensation à double étage présenté ci-dessus, restent valables et utiles. L'invention n'est pas limitée à
10 une utilisation dans le cadre d'un dispositif d'amplification et de compensation à double étage du type de celui présenté ci-dessus.

L'invention sera mieux comprise et d'autres particularités et avantages apparaîtront à l'aide de la description ci-après et des dessins joints, donnés à titre
15 d'exemples, où :

- la figure 1 représente schématiquement un exemple de ligne de transmission intégrant un module de compensation selon l'invention ;
- la figure 2 représente schématiquement un exemple de module de compensation selon l'invention ;
- 20 - la figure 3 représente schématiquement un tableau de comparaison des performances relatives entre des modules de compensation selon l'art antérieur et des exemples de module de compensation selon l'invention, dans le cas d'une compensation d'une fibre optique de ligne monomode standard ;
- la figure 4 représente schématiquement un tableau de comparaison des performances relatives entre des modules de compensation selon l'art antérieur et
25 des exemples de module de compensation selon l'invention, dans le cas d'une compensation d'une fibre optique de ligne monomode à dispersion décalée non nulle ;
- la figure 5 représente schématiquement une famille de courbes montrant
30 les variations du critère de qualité en fonction du facteur de mérite de la fibre

optique de compensation, à dispersion chromatique de la fibre optique de compensation choisie constante, dans le cas d'une compensation d'une fibre optique de ligne monomode standard ;

5 - la figure 6 représente schématiquement une famille de courbes montrant les variations du critère de rapport qualité prix en fonction du facteur de mérite de la fibre optique de compensation, à dispersion chromatique de la fibre optique de compensation choisie constante, dans le cas d'une compensation d'une fibre optique de ligne monomode standard ;

10 - la figure 7 représente schématiquement une famille de courbes montrant les variations du critère de qualité en fonction du facteur de mérite de la fibre optique de compensation, à atténuation de la fibre optique de compensation choisie constante, dans le cas d'une compensation d'une fibre optique de ligne monomode standard ;

15 - la figure 8 représente schématiquement une famille de courbes montrant les variations du critère de rapport qualité prix en fonction du facteur de mérite de la fibre optique de compensation, à atténuation de la fibre optique de compensation choisie constante, dans le cas d'une compensation d'une fibre optique de ligne monomode standard ;

20 - la figure 9 représente schématiquement une famille de courbes montrant les variations du critère de qualité en fonction de la dispersion chromatique de la fibre optique de compensation, à facteur de mérite de la fibre optique de compensation choisi constant, dans le cas d'une compensation d'une fibre optique de ligne monomode standard ;

25 - la figure 10 représente schématiquement une famille de courbes montrant les variations du critère de qualité en fonction de l'atténuation de la fibre optique de compensation, à facteur de mérite de la fibre optique de compensation choisi constant, dans le cas d'une compensation d'une fibre optique de ligne monomode standard.

L'ensemble des figures 5 à 10 concerne le cas de la compensation d'une fibre optique de ligne monomode standard, mais les tendances révélées par ces courbes sont les mêmes dans le cas de la compensation d'une fibre optique de ligne monomode à dispersion décalée non nulle. Présentons les paramètres et
5 critères qui seront utilisés dans toute la suite du texte. Deux cas se présentent, soit le module comprend une seule fibre optique de compensation présentant des paramètres, soit le module comprend plusieurs fibres optiques de compensation en série dont l'ensemble présente des paramètres moyens. Dans toutes les figures 1 à 10, pour des raisons de simplicité, le module de compensation sera considéré
10 comme ne comprenant qu'une seule fibre optique de compensation et l'adjectif moyen pourra disparaître lors de la présentation des paramètres.

Lorsque le module de compensation ne comprend qu'une seule fibre optique de compensation, ledit module de compensation présente l'avantage important d'une simplicité de conception et de fabrication dudit module de
15 compensation.

Lorsque le module de compensation comprend plusieurs fibres optiques de compensation de la même famille, c'est-à-dire soit plusieurs tronçons d'une même et identique fibre optique de compensation soit plusieurs réalisations d'une même fibre optique de compensation présentant de légères différences dues aux
20 tolérances de fabrication et que ces fibres optiques sont appariées et assemblées entre elles, elles permettent d'obtenir certaines propriétés avec une grande précision malgré des tolérances de fabrication plus larges, comme par exemple compenser plus précisément la pente de dispersion chromatique ou le rapport
dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique de la fibre optique de
25 ligne. Lesdites fibres optiques de compensation de la même famille sont de préférence directement reliées entre elles mais pourraient l'être aussi par l'intermédiaire d'un connecteur. Ledit module de compensation présente les avantages d'une simplicité de conception et d'une amélioration de certaines propriétés dudit module de compensation.

Lorsque le module de compensation comprend plusieurs fibres optiques de compensation distinctes et que ces fibres optiques sont appariées et assemblées entre elles, elles permettent d'obtenir une compensation sur une très large bande spectrale, c'est-à-dire sur au moins deux des bandes spectrales S, C et L. Les
5 bandes spectrales S, C et L s'étendent respectivement environ de 1460nm à 1530nm, de 1530nm à 1565nm, de 1565nm à 1615nm. Toutefois, ledit module de compensation présente l'inconvénient d'une difficulté de conception et de réalisation dudit module de compensation.

Soit le cas de deux fibres présentant respectivement des longueurs l_1 et l_2
10 ainsi que respectivement des coefficients d'atténuation par unité de longueur α_1 et α_2 , la perte de connexion entre les deux fibres valant pc . Le coefficient moyen d'atténuation α_m par unité de longueur de l'ensemble des fibres optiques de compensation en série vaut $\alpha_m = (\alpha_1.l_1 + \alpha_2.l_2 + pc)/(l_1 + l_2)$. Ce type de calcul de coefficient moyen d'atténuation est généralisable à plus de deux fibres optiques de
15 compensation en série. Seul le coefficient moyen d'atténuation qui est un cas particulier de paramètre de fibre optique se calcule de cette manière, tous les autres paramètres moyens se calculent d'autres manières.

Soit le cas de deux fibres présentant respectivement des longueurs l_1 et l_2
ainsi que respectivement des dispersions chromatiques par unité de longueur c_1 et
20 c_2 . La dispersion chromatique moyenne c_m par unité de longueur de l'ensemble des fibres optiques de compensation en série vaut $c_m = (c_1.l_1 + c_2.l_2)/(l_1 + l_2)$. Ce type de calcul de dispersion chromatique moyenne est généralisable à plus de deux fibres optiques de compensation en série. Tous les autres paramètres moyens, à l'exception du coefficient moyen d'atténuation, du rapport moyen
25 dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique et du facteur de mérite moyen, se calculent de cette manière, à savoir, la pente de dispersion chromatique moyenne, la surface effective moyenne, le coefficient moyen du deuxième ordre de l'indice de réfraction de la fibre optique en fonction de l'intensité du signal lumineux se propageant dans ladite fibre optique, ce dernier
30 coefficient étant traditionnellement appelé n_2 . Le rapport moyen dispersion

chromatique sur pente de dispersion chromatique est obtenu par le rapport entre la dispersion chromatique moyenne et la pente de dispersion chromatique moyenne. Le facteur de mérite moyen est obtenu par l'opposé du rapport entre la dispersion chromatique moyenne et le coefficient moyen d'atténuation.

- 5 Il existe une formule exacte de critère de non linéarité dans le cas de deux fibres optiques de compensation en série, par exemple appelées fibre optique a et fibre optique b. Les exposants a et b des différents paramètres représentent lesdits paramètres respectivement pour les fibres optiques a et b.

Ladite formule exacte vaut

$$10 \quad NLC = 100 \cdot \left(\frac{n_2^a}{A_{eff}^a \cdot \alpha_{DCF}^a \cdot 10^{\left(\frac{\Gamma_{in}^a}{10}\right)}} \left[1 - 10^{\left(\frac{D_{DCM}^a}{10 \cdot FOM_{DCF}^a \cdot \alpha_{DCF}^a}\right)} \right] + \frac{10^{\left(\frac{D_{DCM}^b \cdot \alpha_{DCF}^b}{10 \cdot FOM_{DCF}^b \cdot \alpha_{DCF}^b}\right)} \cdot n_2^b}{A_{eff}^b \cdot \alpha_{DCF}^b \cdot 10^{\left(\frac{\Gamma_{in}^b + \Gamma_{in}^a}{10}\right)}} \left[1 - 10^{\left(\frac{D_{DCM}^b}{10 \cdot FOM_{DCF}^b}\right)} \right] \right)$$

où $\Gamma_m^b = \Gamma_{inter}$ dans le cas de deux fibres optiques de compensation en série.

Mais les formules approchées obtenues par l'intermédiaire de paramètres moyens de la ligne optique de compensation donnent d'excellents résultats qui
15 sont très proches de ceux qui pourraient être obtenus à l'aide de la formule exacte. C'est pourquoi, la formule approchée est utilisée.

Le module de compensation de dispersion chromatique comporte, un boîtier comprenant une borne d'entrée et une borne de sortie, ainsi qu'une ligne optique de compensation de dispersion chromatique. La ligne de compensation
20 de dispersion chromatique comprend une ou plusieurs fibres optiques monomodes de compensation de dispersion chromatique en série, ne comprend aucune fibre optique multimode HOM, est située dans le boîtier et relie la borne d'entrée à la borne de sortie. Le module est destiné à être introduit, par l'intermédiaire des bornes d'entrée et de sortie, dans une ligne de transmission
25 comprenant une fibre optique de ligne monomode destinée à transmettre des informations dans un domaine spectral d'utilisation. La borne d'entrée introduit dans la ligne de transmission une perte d'entrée Γ_{in} exprimée en dB. La borne de sortie introduit dans la ligne de transmission une perte de sortie Γ_{out} exprimée en

dB. D'éventuelles connexions supplémentaires entre fibres optiques de compensation, dans le cas où la ligne de compensation comprend plusieurs fibres optiques de compensation en série, introduisent ensemble dans la ligne de transmission une perte de connexion Γ_{inter} exprimée en dB.

- 5 La fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente, à une longueur d'onde valant 1550nm, plusieurs paramètres moyens dont, un coefficient moyen d'atténuation α_{DCF} exprimé en dB/km, une dispersion chromatique moyenne négative D_{DCF} exprimée en ps/nm-km, une pente de dispersion chromatique moyenne négative S_{DCF} exprimée en ps/nm²-km, un rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique valant D_{DCF}/S_{DCF} et étant exprimé en nm, un facteur de mérite moyen FOM_{DCF} valant $-D_{DCF}/\alpha_{DCF}$ et étant exprimé en ps/nm-dB, une surface effective moyenne A_{eff} exprimée en μm^2 , un coefficient moyen n_2 du deuxième ordre de l'indice de réfraction en fonction de l'intensité exprimé en $10^{-20}\text{m}^2/\text{W}$. Comme
- 10 déjà expliqué ci-dessus, d'une part le coefficient moyen d'atténuation dans le cas d'une unique fibre optique de compensation est confondu avec le coefficient d'atténuation correspondant de ladite fibre optique unique de compensation, et le coefficient moyen d'atténuation dans le cas d'un ensemble de fibres optiques de compensation en série vaut la somme entre d'une part la moyenne arithmétique
- 15 des coefficients d'atténuation correspondants des différentes fibres optiques de compensation ayant été pondérés par les longueurs respectives desdites différentes fibres optiques de compensation et d'autre part le rapport entre la perte de connexion et la somme des longueurs desdites différentes fibres optiques de compensation, et d'autre part chacun desdits autres paramètres moyens dans le
- 20 cas d'une unique fibre optique de compensation est confondu avec le paramètre correspondant de ladite fibre optique unique de compensation, et chacun desdits autres paramètres moyens dans le cas d'un ensemble de fibres optiques de compensation en série vaut la moyenne arithmétique des paramètres correspondants des différentes fibres optiques de compensation ayant été
- 25

pondérés par les longueurs respectives desdites différentes fibres optiques de compensation.

Le module présente des pertes d'insertion IL , avec

$$IL = \frac{D_{DCM}}{D_{DCF}} \cdot \alpha_{DCF} + \Gamma_{in} + \Gamma_{out} \quad \text{et avec } D_{DCM} = -1360 \text{ps/nm pour la compensation}$$

- 5 d'une fibre optique de ligne monomode standard ou $D_{DCM} = -680 \text{ps/nm}$ pour la compensation d'un exemple d'une fibre optique de ligne monomode à dispersion décalée non nulle. En effet, un tronçon standard de fibre optique de ligne monomode présente une longueur d'environ 80km, ce qui donne une dispersion chromatique cumulée valant environ -1360ps/nm pour une fibre optique de ligne
- 10 monomode standard et valant environ -680ps/nm pour un exemple d'une fibre optique de ligne monomode à dispersion décalée non nulle. Même pour d'autres exemples de fibre optique de ligne monomode à dispersion décalée non nulle présentant une dispersion cumulée légèrement différente de -680ps/nm , l'évaluation du critère de qualité avec $D_{DCM} = -680 \text{ps/nm}$ reste tout à fait valable.
- 15 De plus, pour évaluer la qualité d'un module, les pertes d'insertions ne sont pas les pertes d'insertion réelles du module qui pourraient être relativement faibles si le module ne compense qu'une partie de la dispersion cumulée, mais les pertes d'insertion que présenterait le module s'il compensait 100% de la dispersion cumulée avec une longueur de fibre optique de compensation un peu plus longue
- 20 que celle qu'il a s'il ne compense que partiellement. Par ailleurs, dans les formules du critère de qualité, du critère de rapport qualité prix et du critère de non linéarité, la dispersion cumulée est choisie à -1360ps/nm ou -680ps/nm selon le type de fibre optique de ligne monomode à compenser, mais le module peut également servir à compenser d'autres valeurs de dispersion cumulée ou même
- 25 ne compenser qu'une partie de la dispersion cumulée. Les pertes d'insertion diminuent lorsque le facteur de mérite augmente. Les pertes d'insertion restent constantes à facteur de mérite constant.

Pour pouvoir compenser à environ plus ou moins 20% le rapport dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique d'une fibre optique

de ligne monomode standard, la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente un rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique compris entre 240nm et 400nm. Pour pouvoir compenser à environ plus ou moins 10% le rapport
 5 dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique d'une fibre optique de ligne monomode standard, la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente de préférence un rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique compris entre 270nm et 370nm.

10 Pour pouvoir compenser le rapport dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique de la plupart des fibres optiques de ligne monomodes à dispersion décalée non nulle, la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente de préférence un rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique inférieur à
 15 200nm.

Le module présente un critère de non linéarité NLC représentant les effets non linéaires, c'est-à-dire les effets de la phase non linéaire, dans le cas particulier de pertes constantes entre les deux amplificateurs du dispositif d'amplification à

double étage, avec
$$NLC = \frac{100 \cdot n_2 \cdot (1 - 10^{\frac{D_{DCM}}{10 \cdot FOM_{DCF}}})}{A_{eff} \cdot \alpha_{DCF} \cdot 10^{10}}$$
. Cependant, quoique moins

20 pertinent dans d'autres structures de dispositif d'amplification comme le serait un dispositif d'amplification à un seul étage ne comprenant qu'un amplificateur et pas d'atténuateur, le critère de non linéarité resterait alors tout de même intéressant. Ce critère de non linéarité permet une constatation paradoxale, à savoir qu'augmenter l'atténuation d'une fibre optique à facteur de mérite constant,
 25 diminue le critère de non linéarité et augmente les performances du module. On peut même diminuer le critère de non linéarité en diminuant le facteur de mérite, pour peu qu'on augmente suffisamment l'atténuation sans trop dégrader la surface effective et le coefficient n_2 .

Le module présente un critère de qualité CQ , avec $CQ = IL + 10 \log NLC$. Les deux contributions, à savoir pertes d'insertion et critère de non linéarité, sont ramenés à la même unité et sont exprimés en dB. Ce critère de qualité est représentatif de la qualité globale d'un module de compensation.

5 Le module présente un critère de rapport qualité prix $CQ2$, avec $CQ2 = CQ + B \log(FOM_{DCF})$ et avec $B=18$ pour le cas d'une compensation d'une fibre optique de ligne monomode standard et avec $B=23$ pour le cas d'une compensation d'une fibre optique de ligne monomode à dispersion décalée non nulle. Le facteur de mérite d'une fibre optique de compensation est représentatif
10 de la difficulté de réalisation de cette fibre optique de compensation et par conséquent du coût du module de compensation associé, en sachant que des facteurs de mérite élevés sont encore plus difficiles à obtenir lorsqu'on cherche à obtenir des rapports dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique voisins de ceux des fibres optiques de ligne monomodes à dispersion chromatique
15 décalée non nulle que lorsqu'on cherche à obtenir des rapports dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique voisins de ceux des fibres optiques de ligne monomodes standard lesquels sont plus élevés. Ceci explique la différence de valeur du coefficient B qui pour tenir compte de cette difficulté accrue de réalisation passe de 18 à 23. La partie $B \log(FOM_{DCF})$ est exprimée en dB
20 également.

En particulier lors de l'intégration du module de compensation au milieu d'un dispositif d'amplification double étage, au travers du critère de qualité, l'invention met en évidence qu'il est intéressant de dégrader un peu les pertes d'insertion si les pertes dues aux effets non linéaires qui sont représentées par le
25 critère de non linéarité, s'améliorent proportionnellement plus. Par exemple, il est intéressant d'augmenter les pertes d'insertion d'un dB, si par ce biais la contribution dans le critère de qualité du critère de non linéarité diminue de deux dB. Les pertes d'insertion étant fixées entre les deux amplificateurs du dispositif d'amplification double étage, toute diminution de ces pertes d'insertion en dessous
30 du seuil fixé n'a plus pour seul intérêt que la diminution des effets non linéaires qui

en découle, ce qui peut être obtenu plus facilement par une diminution importante du critère de qualité associée à une légère augmentation des pertes d'insertion. En effet, en dessous du seuil fixé, une diminution supplémentaire au niveau des pertes d'insertion ne se traduira pas par un gain au niveau du bilan optique global des pertes, car elle aura été annihilée par une augmentation correspondante de l'atténuation de l'atténuateur ; le seul avantage associé à cette diminution des pertes d'insertion étant obtenu au niveau de la tenue aux effets non linéaires, laquelle meilleure tenue peut être plus efficacement et plus facilement obtenue en échangeant une légère augmentation des pertes d'insertion contre une diminution correspondante plus importante du critère de non linéarité. Dans le critère de qualité, la partie la plus importante est la contribution apportée par le critère de non linéarité ; par conséquent, il est intéressant de rééquilibrer les contributions respectives des pertes d'insertion et du critère de non linéarité à l'aide d'un critère de répartition des pertes CRP, avec $CRP = 1 - \frac{2IL}{CQ}$ ce qui équivaut à $CRP =$

15 $\frac{10 \log NLC - IL}{10 \log NLC + IL}$, qu'il s'agit de diminuer.

A facteur de mérite de la fibre optique de compensation choisi constant, diminuer le critère de qualité revient à diminuer le critère de non linéarité, car les pertes d'insertion sont constantes à facteur de mérite constant de la fibre optique de compensation, lorsque les seuls paramètres variant sont les paramètres de la fibre optique de compensation. Diminuer le critère de non linéarité à facteur de

20 mérite constant revient à augmenter le produit de l'atténuation par la surface effective divisé par le coefficient n_2 . Diminuer n_2 et augmenter la surface effective semble relativement naturel, tandis qu'augmenter l'atténuation de la fibre optique de compensation est assez paradoxal. L'invention traduit cela par l'augmentation

25 d'un critère d'optimisation pour module COM, avec $COM = \frac{100 \cdot \alpha_{DCF} \cdot A_{eff}}{n_2 \cdot FOM_{DCF}}$ exprimé en $10^{10} \text{ dB}^2 \cdot \text{W/s}$, qu'il s'agit d'augmenter. De manière assez surprenante, l'atténuation de la fibre optique de compensation que l'art antérieur essayait à tout prix de diminuer le plus possible se retrouve au numérateur d'une fraction à

augmenter, tandis que le facteur de mérite de la fibre optique de compensation que l'art antérieur essayait à tout prix d'augmenter se retrouve au dénominateur d'une fraction à augmenter. Un critère d'optimisation pour module relativement élevé correspond à une fibre optique de compensation bien optimisée pour être
5 utilisée dans un module de compensation.

La figure 1 représente schématiquement un exemple de ligne de transmission intégrant un module de compensation selon l'invention. La ligne de transmission correspond à un tronçon qui, périodiquement répété, et complété par des dispositifs d'émission et des dispositifs de réception, constitue le système de
10 communication. La ligne de transmission comprend successivement, dans le sens de propagation du signal lumineux, une fibre optique 1 de ligne et un dispositif 6 d'amplification et de compensation. Le dispositif 6 d'amplification et de compensation comprend successivement un premier amplificateur amont 2, un atténuateur 3, un module 4 de compensation selon l'invention, un deuxième
15 amplificateur aval 5. En aval du deuxième amplificateur aval 5, se trouve la fibre optique 1 de ligne du tronçon suivant. Le signal lumineux, après s'être propagé le long de la fibre optique 1 de ligne, est amplifié par l'amplificateur amont 2, puis atténué par l'atténuateur 3, compensé au niveau dispersion chromatique par le module 4 de compensation, à nouveau amplifié par l'amplificateur aval 5, avant
20 d'attaquer le tronçon suivant, c'est-à-dire la ligne de transmission suivante.

La figure 2 représente schématiquement un exemple de module de compensation selon l'invention. Le module 4 de compensation comprend un boîtier 49. Le module 4 de compensation comprend successivement une borne d'entrée 41, une ligne optique 40 de compensation de dispersion chromatique,
25 une borne de sortie 42. La ligne optique 40 de compensation peut comprendre une ou plusieurs fibres optiques en série reliées entre elles par des connecteurs. Sur la figure 2, à titre d'exemple, la ligne optique 40 de compensation comprend deux fibres optiques de compensation 43 et 45 reliées entre elles par un connecteur 44. En amont, à la sortie de l'atténuateur 3, le signal lumineux entre
30 par la borne d'entrée 41, se propage dans la fibre optique 43 de compensation,

traverse le connecteur 44, se propage dans la fibre optique 45 de compensation, puis sort par la borne de sortie 42 en aval, c'est-à-dire en entrée de l'amplificateur aval 5.

La figure 3 représente schématiquement un tableau de comparaison des performances relatives entre des modules de compensation selon l'art antérieur et des exemples de module de compensation selon l'invention, dans le cas d'une compensation d'une fibre optique de ligne monomode standard. La première colonne représente les numéros des exemples de module de compensation. Les exemples de module de compensation selon l'art antérieur sont notés A1, A2, B1, B2, C1, C2. Les exemples de module de compensation selon l'invention sont notés N1, N2, N3, N4. La colonne suivante représente l'opposé de la dispersion chromatique cumulée par la fibre optique de ligne et qui est l'opposé de la dispersion chromatique qu'il faudrait compenser pour compenser 80km de la fibre optique de ligne à 100%, elle est notée D_{DCM} et est exprimée en ps/nm. La colonne suivante représente la dispersion chromatique de la fibre optique de compensation, elle est notée D_{DCF} et est exprimée en ps/nm-km. La colonne suivante représente la pente de dispersion chromatique de la fibre optique de compensation, elle est notée S_{DCF} et est exprimée en ps/nm²-km. La colonne suivante représente le rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique de la fibre optique de compensation, il est noté D_{DCF}/S_{DCF} et est exprimé en nm. La colonne suivante représente le coefficient d'atténuation de la fibre optique de compensation, il est noté α_{DCF} et est exprimé en dB/km. La colonne suivante représente le facteur de mérite de la fibre optique de compensation, il est noté FOM_{DCF} et est exprimé en ps/nm-dB. La colonne suivante représente la perte d'entrée de la borne d'entrée du module de compensation sensiblement égale à la perte de sortie de la borne de sortie du module de compensation, elle est notée Γ et est exprimée en dB. La colonne suivante représente les pertes d'insertion du module de compensation, elles sont notées IL et sont exprimées en dB. La colonne suivante représente la surface effective de la fibre optique de compensation, elle est notée A_{eff} et est exprimée en μm^2 . La

colonne suivante représente le coefficient moyen du deuxième ordre de l'indice de réfraction de la fibre optique de compensation en fonction de l'intensité du signal lumineux qui se propage dedans, il est noté n_2 et est exprimé en $10^{-20} \text{m}^2/\text{W}$. La colonne suivante représente le critère de non linéarité du module de compensation, il est noté NLC et est exprimé en 10^{-6}km/W-dB . La colonne suivante représente le critère de qualité du module de compensation, il est noté CQ et est exprimé en dB. La colonne suivante représente le critère de rapport qualité prix du module de compensation, il est noté CQ2 et est exprimé en dB. La colonne suivante représente le critère d'optimisation pour module de la fibre optique de compensation, il est noté COM et est exprimé en $10^{10} \text{dB}^2 \cdot \text{W/s}$. La colonne suivante représente le critère de répartition des pertes du module de compensation, il est noté CRP et est exprimé en %.

Les modules de compensation selon l'invention présentent un critère de rapport qualité prix qui est nettement plus faible et donc nettement meilleur que celui des modules selon l'art antérieur : il y a plus d'un demi dB entre le plus mauvais module de compensation obtenu selon la méthode de l'invention et le meilleur module de compensation obtenu selon l'art antérieur. Un gain d'un demi dB est déjà considérable.

De préférence, l'invention concerne des modules de compensation présentant un très bon critère de qualité ; pour cela, la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente, pour un facteur de mérite moyen donné, une atténuation moyenne suffisamment élevée pour que le critère de qualité soit inférieur à 18.5dB.

De préférence, l'invention concerne des modules de compensation présentant un excellent critère de qualité ; pour cela, la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente, pour un facteur de mérite moyen donné, une atténuation moyenne suffisamment élevée pour que le critère de qualité soit inférieur à 17.5dB.

De préférence, l'invention concerne des modules de compensation présentant un très bon critère de rapport qualité prix ; pour cela, la fibre optique

de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente, pour un facteur de mérite moyen donné, une atténuation moyenne suffisamment élevée pour que le critère de rapport qualité prix soit inférieur à 60.8dB.

5 De préférence, l'invention concerne des modules de compensation présentant un excellent critère de rapport qualité prix ; pour cela, la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente, pour un facteur de mérite moyen donné, une atténuation moyenne
10 60.3dB.

Toujours dans le souci d'améliorer le critère de qualité et ou le critère de rapport qualité prix, le module de compensation respecte de préférence un certain nombre de seuils préférentiels décrits ci-après.

De préférence, la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres
15 optiques de compensation en série présente un critère d'optimisation pour module qui est supérieur à 2. Le critère d'optimisation pour module est avantageusement supérieur à 2.5.

De préférence, la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente un facteur de mérite moyen compris
20 entre 200 et 250 ps/nm-dB.

De préférence, la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente une atténuation moyenne supérieure à 0.9dB/km. La fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente avantageusement une atténuation moyenne
25 supérieure à 1.1dB/km.

De préférence, le module de compensation présente un critère de répartition des pertes qui est inférieur à 30%. Le critère de répartition des pertes est avantageusement inférieur à 23%.

La figure 4 représente schématiquement un tableau de comparaison des
30 performances relatives entre des modules de compensation selon l'art antérieur et



des exemples de module de compensation selon l'invention, dans le cas d'une compensation d'une fibre optique de ligne monomode à dispersion décalée non nulle. La première colonne représente les numéros des exemples de module de compensation. Les exemples de module de compensation selon l'art antérieur sont

5 notés B1, B2, B3, B4, C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7. Les exemples de module de compensation selon l'invention sont notés N1, N2, N3, N4, N5. Cette numérotation des modules n'a aucun rapport avec la numérotation des modules de la figure 3 : deux mêmes numéros entre les figures 3 et 4 correspondent à des modules sans rapport entre eux. La colonne suivante représente l'opposé de la

10 dispersion chromatique cumulée par la fibre optique de ligne et qui est l'opposé de la dispersion chromatique qu'il faudrait compenser pour compenser 80km de la fibre optique de ligne à 100%, elle est notée D_{DCM} et est exprimée en ps/nm. La dispersion chromatique cumulée par une fibre optique de ligne monomode à dispersion décalée non nulle est plus faible que la dispersion chromatique

15 cumulée d'une fibre optique de ligne monomode standard, car sa dispersion chromatique est également plus faible. La colonne suivante représente la dispersion chromatique de la fibre optique de compensation, elle est notée D_{DCF} et est exprimée en ps/nm-km. La colonne suivante représente la pente de dispersion chromatique de la fibre optique de compensation, elle est notée S_{DCF} et est

20 exprimée en ps/nm²-km. La colonne suivante représente le rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique de la fibre optique de compensation, il est noté D_{DCF}/S_{DCF} et est exprimé en nm. La colonne suivante représente le coefficient d'atténuation de la fibre optique de compensation, il est

noté α_{DCF} et est exprimé en dB/km. La colonne suivante représente le facteur de

25 mérite de la fibre optique de compensation, il est noté FOM_{DCF} et est exprimé en ps/nm-dB. La colonne suivante représente la perte d'entrée de la borne d'entrée du module de compensation sensiblement égale à la perte de sortie de la borne de sortie du module de compensation, elle est notée Γ et est exprimée en dB. La

colonne suivante représente les pertes d'insertion du module de compensation,

30 elle sont notées IL et sont exprimées en dB. La colonne suivante représente la

surface effective de la fibre optique de compensation, elle est notée A_{eff} et est exprimée en μm^2 . La colonne suivante représente le coefficient moyen du deuxième ordre de l'indice de réfraction de la fibre optique de compensation en fonction de l'intensité du signal lumineux qui se propage dedans, il est noté n_2 et
5 est exprimé en $10^{-20}\text{m}^2/\text{W}$. La colonne suivante représente le critère de non linéarité du module de compensation, il est noté NLC et est exprimé en $10^{-6}\text{km}/\text{W-dB}$. La colonne suivante représente le critère de qualité du module de compensation, il est noté CQ et est exprimé en dB. La colonne suivante représente le critère de rapport qualité prix du module de compensation, il est noté CQ2 et
10 est exprimé en dB. La colonne suivante représente le critère d'optimisation pour module de la fibre optique de compensation, il est noté COM et est exprimé en $10^{10}\text{dB}^2\cdot\text{W/s}$. La colonne suivante représente le critère de répartition des pertes du module de compensation, il est noté CRP et est exprimé en %.

Les modules de compensation selon l'invention présentent un critère de
15 rapport qualité prix qui est nettement plus faible et donc nettement meilleur que celui des modules selon l'art antérieur : il y a plus d'un dB entre le plus mauvais module de compensation obtenu selon la méthode de l'invention et le meilleur module de compensation obtenu selon l'art antérieur. Un gain d'un dB est déjà considérable.

20 De préférence, l'invention concerne des modules de compensation présentant un très bon critère de qualité ; pour cela, la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente, pour un facteur de mérite moyen donné, une atténuation moyenne suffisamment élevée pour que le critère de qualité soit inférieur à 15dB.

25 De préférence, l'invention concerne des modules de compensation présentant un excellent critère de qualité ; pour cela, la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente, pour un facteur de mérite moyen donné, une atténuation moyenne suffisamment élevée pour que le critère de qualité soit inférieur à 13dB.



De préférence, l'invention concerne des modules de compensation présentant un très bon critère de rapport qualité prix ; pour cela, la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente, pour un facteur de mérite moyen donné, une atténuation moyenne
5 suffisamment élevée pour que le critère de rapport qualité prix soit inférieur à 66.1dB.

De préférence, l'invention concerne des modules de compensation présentant un excellent critère de rapport qualité prix ; pour cela, la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série
10 présente, pour un facteur de mérite moyen donné, une atténuation moyenne suffisamment élevée pour que le critère de rapport qualité prix soit inférieur à 65.6dB.

Toujours dans le souci d'améliorer le critère de qualité et ou le critère de rapport qualité prix, le module de compensation respecte de préférence un certain
15 nombre de seuils préférentiels décrits ci-après.

De préférence, la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente un critère d'optimisation pour module qui est supérieur à 3. Le critère d'optimisation pour module est avantageusement supérieur à 4.

20 De préférence, la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente un facteur de mérite moyen compris entre 170 et 220 ps/nm-dB.

De préférence, la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente une atténuation moyenne supérieure
25 à 1.1dB/km. La fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente avantageusement une atténuation moyenne supérieure à 1.3dB/km.

De préférence, le module de compensation présente un critère de répartition des pertes qui est inférieur à 35%. Le critère de répartition des pertes
30 est avantageusement inférieur à 28%.

La figure 5 représente schématiquement une famille de courbes montrant les variations du critère de qualité en fonction du facteur de mérite de la fibre optique de compensation, à dispersion chromatique de la fibre optique de compensation choisie constante, dans le cas d'une compensation d'une fibre optique de ligne monomode standard. En ordonnée, le critère de qualité CQ est exprimé en dB. En abscisse, le facteur de mérite FOM_{DCF} est exprimé en ps/nm-dB. La courbe CA correspond à une dispersion chromatique valant -150 ps/nm-km. La courbe CB correspond à une dispersion chromatique valant -200 ps/nm-km. La courbe CC correspond à une dispersion chromatique valant -250 ps/nm-km. Les courbes CA, CB, CC montrent, au travers de leur pente relativement faible et de leur espacement entre courbes relativement important, que pour diminuer et donc pour améliorer le critère de qualité, il est plus efficace de diminuer la dispersion chromatique de la fibre optique de compensation à facteur de mérite constant plutôt que d'augmenter le facteur de mérite de la fibre optique de compensation à dispersion chromatique constante. Et ceci est d'autant plus vrai que le facteur de mérite est grand et notamment supérieur à une valeur d'environ 200ps/nm-dB. Pour la compensation d'une fibre optique de ligne à dispersion décalée non nulle, le précédent seuil préférentiel se situe plutôt vers 150ps/nm-dB.

La figure 6 représente schématiquement une famille de courbes montrant les variations du critère de rapport qualité prix en fonction du facteur de mérite de la fibre optique de compensation, à dispersion chromatique de la fibre optique de compensation choisie constante, dans le cas d'une compensation d'une fibre optique de ligne monomode standard. En ordonnée, le critère de rapport qualité prix CQ2 est exprimé en dB. En abscisse, le facteur de mérite FOM_{DCF} est exprimé en ps/nm-dB. La courbe CA correspond à une dispersion chromatique valant -150 ps/nm-km. La courbe CB correspond à une dispersion chromatique valant -200 ps/nm-km. La courbe CC correspond à une dispersion chromatique valant -250 ps/nm-km. Les courbes CA, CB, CC montrent, au travers du signe de leur pente et de leur espacement entre courbes relativement important, que pour diminuer et donc pour améliorer le critère de rapport qualité prix, il est intéressant



de diminuer la dispersion chromatique de la fibre optique de compensation à facteur de mérite constant et qu'il est nuisible d'augmenter le facteur de mérite de la fibre optique de compensation à dispersion chromatique constante. Toutefois, pour obtenir un critère de qualité minimum, il faut tout de même augmenter le

5 facteur de mérite au-delà d'un certain seuil.

La figure 7 représente schématiquement une famille de courbes montrant les variations du critère de qualité en fonction du facteur de mérite de la fibre optique de compensation, à atténuation de la fibre optique de compensation choisie constante, dans le cas d'une compensation d'une fibre optique de ligne

10 monomode standard. En ordonnée, le critère de qualité CQ est exprimé en dB. En abscisse, le facteur de mérite FOM_{DCF} est exprimé en ps/nm-dB. La courbe CA correspond à une dispersion chromatique valant 0.5dB/km. La courbe CB correspond à une dispersion chromatique valant 0.7dB/km. La courbe CC correspond à une dispersion chromatique valant 0.9dB/km. Les courbes CA, CB,

15 CC montrent, au travers de leur pente relativement faible et de leur espacement entre courbes relativement important, que pour diminuer et donc pour améliorer le critère de qualité, il est plus efficace d'augmenter l'atténuation de la fibre optique de compensation à facteur de mérite constant plutôt que d'augmenter le facteur de mérite de la fibre optique de compensation à atténuation constante. Et

20 ceci est d'autant plus vrai que le facteur de mérite est grand et notamment supérieur à une valeur d'environ 200ps/nm-dB. Pour la compensation d'une fibre optique de ligne à dispersion décalée non nulle, le précédent seuil préférentiel se situe plutôt vers 150ps/nm-dB.

La figure 8 représente schématiquement une famille de courbes montrant

25 les variations du critère de rapport qualité prix en fonction du facteur de mérite de la fibre optique de compensation, à atténuation de la fibre optique de compensation choisie constante, dans le cas d'une compensation d'une fibre optique de ligne monomode standard. En ordonnée, le critère de rapport qualité prix CQ2 est exprimé en dB. En abscisse, le facteur de mérite FOM_{DCF} est exprimé

30 en ps/nm-dB. La courbe CA correspond à une dispersion chromatique valant

0.5dB/km. La courbe CB correspond à une dispersion chromatique valant 0.7dB/km. La courbe CC correspond à une dispersion chromatique valant 0.9dB/km. Les courbes CA, CB, CC montrent, au travers de la présence d'un minimum relativement plat et de leur espacement entre courbes relativement important, que pour diminuer et donc pour améliorer le critère de rapport qualité prix, il est intéressant d'augmenter l'atténuation de la fibre optique de compensation à facteur de mérite constant et que par ailleurs, il existe une plage optimale de facteur de mérite de la fibre optique de compensation, lequel facteur de mérite ne doit être ni trop faible ni trop élevé. La plage optimale est fonction de l'atténuation, mais elle varie relativement peu en fonction de l'atténuation. Un seuil minimum de facteur de mérite doit tout de même être respecté pour obtenir un très bon facteur de qualité, mais augmenter le facteur de mérite le plus possible à tout prix n'est plus du tout la méthode préconisée par l'invention.

La figure 9 représente schématiquement une famille de courbes montrant les variations du critère de qualité en fonction de la dispersion chromatique de la fibre optique de compensation à facteur de mérite de la fibre optique de compensation choisi constant, dans le cas d'une compensation d'une fibre optique de ligne monomode standard. En ordonnée, le critère de qualité CQ est exprimé en dB. En abscisse, la dispersion chromatique est exprimée en ps/nm-km. La courbe CA correspond à un facteur de mérite valant 150 ps/nm-dB. La courbe CB correspond à une dispersion chromatique valant 200 ps/nm-dB. La courbe CC correspond à une dispersion chromatique valant 250 ps/nm-dB. Les courbes CA, CB, CC montrent, au travers de leur pente relativement élevée et de leur espacement entre courbes relativement faible, que pour diminuer et donc pour améliorer le critère de qualité, il est plus efficace de diminuer la dispersion chromatique de la fibre optique de compensation à facteur de mérite constant plutôt que d'augmenter le facteur de mérite de la fibre optique de compensation à dispersion chromatique constante. Et ceci est d'autant plus vrai que le facteur de mérite est grand et notamment supérieur à une valeur d'environ 200ps/nm-dB.

Pour la compensation d'une fibre optique de ligne à dispersion décalée non nulle, le précédent seuil préférentiel se situe plutôt vers 150ps/nm-dB.

La figure 10 représente schématiquement une famille de courbes montrant les variations du critère de qualité en fonction de l'atténuation de la fibre optique de compensation à facteur de mérite de la fibre optique de compensation choisi constant, dans le cas d'une compensation d'une fibre optique de ligne monomode standard. En ordonnée, le critère de qualité CQ est exprimé en dB. En abscisse, l'atténuation est exprimée en dB/km. La courbe CA correspond à un facteur de mérite valant 150 ps/nm-dB. La courbe CB correspond à une dispersion chromatique valant 200 ps/nm-dB. La courbe CC correspond à une dispersion chromatique valant 250 ps/nm-dB. Les courbes CA, CB, CC montrent, au travers de leur pente relativement importante et de leur espacement entre courbes relativement faible, que pour diminuer et donc pour améliorer le critère de qualité, il est plus efficace d'augmenter l'atténuation de la fibre optique de compensation à facteur de mérite constant plutôt que d'augmenter le facteur de mérite de la fibre optique de compensation à atténuation constante. Et ceci est d'autant plus vrai que le facteur de mérite est grand et notamment supérieur à une valeur d'environ 200ps/nm-dB. Pour la compensation d'une fibre optique de ligne à dispersion décalée non nulle, le précédent seuil préférentiel se situe plutôt vers 150ps/nm-dB.

De préférence, pour obtenir un module de compensation plus simple, la ligne optique de compensation est constituée d'une seule et même fibre optique reliant la borne d'entrée à la borne de sortie. Plusieurs fibres optiques de compensation en série permettent, au prix d'une certaine complexité, de mieux compenser la pente de dispersion chromatique de la fibre optique de ligne.

De préférence, le dispositif d'amplification de signal et de compensation de dispersion chromatique comprend successivement, un premier amplificateur de signal, un atténuateur de signal, un module de compensation de dispersion chromatique selon l'invention, un deuxième amplificateur de signal.

De préférence, la ligne de transmission comprend successivement, une fibre optique de ligne monomode destinée à transmettre des informations dans un domaine spectral d'utilisation, un dispositif d'amplification de signal et de compensation de dispersion chromatique selon l'invention.

REVENDECATIONS

1. Module de compensation de dispersion chromatique comportant,
un boîtier (49) comprenant une borne d'entrée (41) et une borne de sortie
5 (42),

une ligne optique de compensation (40) de dispersion chromatique
comportant une ou plusieurs fibres optiques monomodes de compensation (43,
45) de dispersion chromatique en série, ne comprenant aucune fibre optique
multimode HOM, étant située dans le boîtier et reliant la borne d'entrée à la
10 borne de sortie,

le module étant destiné à être introduit, par l'intermédiaire des bornes
d'entrée et de sortie, dans une ligne de transmission comprenant une fibre optique
de ligne monomode standard destinée à transmettre des informations dans un
domaine spectral d'utilisation,

15 la borne d'entrée introduisant dans la ligne de transmission une perte
d'entrée Γ_{in} exprimée en dB,

la borne de sortie introduisant dans la ligne de transmission une perte de
sortie Γ_{out} exprimée en dB,

d'éventuelles connexions supplémentaires entre fibres optiques de
20 compensation introduisant ensemble dans la ligne de transmission une perte de
connexion Γ_{inter} exprimée en dB,

la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de
compensation en série présentant, à une longueur d'onde valant 1550nm,
plusieurs paramètres moyens dont, un coefficient moyen d'atténuation α_{DCF}
25 exprimé en dB/km, une dispersion chromatique moyenne négative D_{DCF} exprimée
en ps/nm-km, une pente de dispersion chromatique moyenne négative S_{DCF}
exprimée en ps/nm²-km, un rapport moyen dispersion chromatique sur pente de
dispersion chromatique valant D_{DCF}/S_{DCF} et étant exprimé en nm, un facteur de
mérite moyen FOM_{DCF} valant $-D_{DCF}/\alpha_{DCF}$ et étant exprimé en ps/nm-dB, une surface

effective moyenne A_{eff} exprimée en μm^2 , un coefficient moyen n_2 du deuxième ordre de l'indice de réfraction en fonction de l'intensité exprimé en $10^{-20} m^2/W$,

le rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique valant le rapport entre la dispersion chromatique moyenne et la
5 pente de dispersion chromatique moyenne,

le facteur de mérite moyen valant l'opposé du rapport entre la dispersion chromatique moyenne et le coefficient moyen d'atténuation,

le coefficient moyen d'atténuation dans le cas d'une unique fibre optique de compensation étant confondu avec le coefficient d'atténuation correspondant
10 de ladite fibre optique unique de compensation, et le coefficient moyen d'atténuation dans le cas d'un ensemble de fibres optiques de compensation en série valant la somme entre d'une part la moyenne arithmétique des coefficients d'atténuation correspondants des différentes fibres optiques de compensation ayant été pondérés par les longueurs respectives desdites différentes fibres
15 optiques de compensation et d'autre part le rapport entre la perte de connexion et la somme des longueurs desdites différentes fibres optiques de compensation,

chacun desdits autres paramètres moyens dans le cas d'une unique fibre optique de compensation étant confondu avec le paramètre correspondant de ladite fibre optique unique de compensation, et chacun desdits autres paramètres
20 moyens dans le cas d'un ensemble de fibres optiques de compensation en série valant la moyenne arithmétique des paramètres correspondants des différentes fibres optiques de compensation ayant été pondérés par les longueurs respectives desdites différentes fibres optiques de compensation,

le module présentant des pertes d'insertion IL exprimées en dB,

25 avec $IL = \frac{D_{DCM}}{D_{DCF}} \cdot \alpha_{DCF} + \Gamma_{in} + \Gamma_{out}$ et avec $D_{DCM} = -1360 ps/nm$,

le module présentant un critère de non linéarité NLC représentant les effets de la phase non linéaire et étant exprimé en $10^{-6} km/W-dB$,

$$\text{avec } NLC = \frac{100 \cdot n_2 \cdot (1 - 10^{\frac{D_{DCM}}{10 \cdot FOM_{DCF}}})}{A_{eff} \cdot \alpha_{DCF} \cdot 10^{\frac{\Gamma_{in}}{10}}},$$



le module présentant un critère de qualité CQ exprimé en dB,

avec $CQ = IL + 10 \log NLC$,

le module présentant un critère de rapport qualité prix CQ2 exprimé en dB,

5 avec $CQ2 = CQ + B \log(FOM_{DCF})$ et avec $B=18$,

la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présentant,

premièrement une dispersion chromatique moyenne inférieure à -130 ps/nm-km ,

10 deuxièmement un rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique compris entre 240nm et 400nm,

troisièmement, pour un facteur de mérite moyen donné, une atténuation moyenne suffisamment élevée pour que d'une part le critère de qualité soit inférieur à 20.5dB et d'autre part le critère de rapport qualité prix soit inférieur à

15 61.3dB.

2. Module selon la revendication 1, caractérisé en ce que la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente, pour un facteur de mérite moyen donné, une atténuation moyenne
20 suffisamment élevée pour que le critère de qualité soit inférieur à 18.5dB.

3. Module selon la revendication 2, caractérisé en ce que la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente, pour un facteur de mérite moyen donné, une atténuation moyenne
25 suffisamment élevée pour que le critère de qualité soit inférieur à 17.5dB.

4. Module selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente, pour un facteur de mérite moyen

donné, une atténuation moyenne suffisamment élevée pour que le critère de rapport qualité prix soit inférieur à 60.8dB.

5 **5.** Module selon la revendication 4, caractérisé en ce que la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente, pour un facteur de mérite moyen donné, une atténuation moyenne suffisamment élevée pour que le critère de rapport qualité prix soit inférieur à 60.3dB.

10 **6.** Module selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente, pour un facteur de mérite moyen donné, une atténuation moyenne suffisamment élevée pour que le critère de non linéarité, exprimé en 10^{-6} km/W-dB, soit inférieur à 15.

15 **7.** Module selon la revendication 6, caractérisé en ce que la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente, pour un facteur de mérite moyen donné, une atténuation moyenne suffisamment élevée pour que le critère de non linéarité, exprimé en 10^{-6} km/W-
20 dB, soit inférieur à 13.

8. Module selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente un critère d'optimisation pour module
25 COM, avec $COM = \frac{100 \cdot \alpha_{DCF} \cdot A_{eff}}{n_2 \cdot FOM_{DCF}}$ exprimé en 10^{10} dB²-W/s, qui est supérieur à 2.

9. Module selon la revendication 8, caractérisé en ce que le critère d'optimisation pour module est supérieur à 2.5.

10. Module selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente un facteur de mérite moyen compris entre 200 et 250 ps/nm-dB.

5

11. Module selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente une atténuation moyenne supérieure à 0.9dB/km.

10

12. Module selon la revendication 10, caractérisé en ce que la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente, une atténuation moyenne supérieure à 1.1dB/km.

15

13. Module selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le module présente un critère de répartition des pertes CRP, avec $CRP = 1 - \frac{2IL}{CQ}$, qui est inférieur à 30%.

14. Module selon la revendication 13, caractérisé en ce que le critère de répartition des pertes est inférieur à 23%.

20

15. Module selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente un rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique compris entre 270nm et 370nm.

25

16. Module de compensation de dispersion chromatique comportant,

un boîtier (49) comprenant une borne d'entrée (41) et une borne de sortie (42),

une ligne optique de compensation (40) de dispersion chromatique comprenant une ou plusieurs fibres optiques monomodes de compensation (43, 45) de dispersion chromatique en série, ne comprenant aucune fibre optique multimode HOM, étant située dans le boîtier et reliant la borne d'entrée à la borne de sortie,

le module étant destiné à être introduit, par l'intermédiaire des bornes d'entrée et de sortie, dans une ligne de transmission comprenant une fibre optique de ligne monomode à dispersion décalée non nulle à 1550nm et destinée à transmettre des informations dans un domaine spectral d'utilisation,

la borne d'entrée introduisant dans la ligne de transmission une perte d'entrée Γ_{in} exprimée en dB,

la borne de sortie introduisant dans la ligne de transmission une perte de sortie Γ_{out} exprimée en dB,

d'éventuelles connexions supplémentaires entre fibres optiques de compensation introduisant ensemble dans la ligne de transmission une perte de connexion Γ_{inter} exprimée en dB,

la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présentant, à une longueur d'onde valant 1550nm, plusieurs paramètres moyens dont, un coefficient moyen d'atténuation α_{DCF} exprimé en dB/km, une dispersion chromatique moyenne négative D_{DCF} exprimée en ps/nm-km, une pente de dispersion chromatique moyenne négative S_{DCF} exprimée en ps/nm²-km, un rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique valant D_{DCF}/S_{DCF} et étant exprimé en nm, un facteur de mérite moyen FOM_{DCF} valant $-D_{DCF}/\alpha_{DCF}$ et étant exprimé en ps/nm-dB, une surface effective moyenne A_{eff} exprimée en μm^2 , un coefficient moyen n_2 du deuxième ordre de l'indice de réfraction en fonction de l'intensité exprimé en $10^{-20}\text{m}^2/\text{W}$,

le rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique valant le rapport entre la dispersion chromatique moyenne et la pente de dispersion chromatique moyenne,

le facteur de mérite moyen valant l'opposé du rapport entre la dispersion chromatique moyenne et le coefficient moyen d'atténuation,

le coefficient moyen d'atténuation dans le cas d'une unique fibre optique de compensation étant confondu avec le coefficient d'atténuation correspondant de ladite fibre optique unique de compensation, et le coefficient moyen d'atténuation dans le cas d'un ensemble de fibres optiques de compensation en série valant la somme entre d'une part la moyenne arithmétique des coefficients d'atténuation correspondants des différentes fibres optiques de compensation ayant été pondérés par les longueurs respectives desdites différentes fibres optiques de compensation et d'autre part le rapport entre la perte de connexion et la somme des longueurs desdites différentes fibres optiques de compensation,

chacun desdits autres paramètres moyens dans le cas d'une unique fibre optique de compensation étant confondu avec le paramètre correspondant de ladite fibre optique unique de compensation, et chacun desdits autres paramètres moyens dans le cas d'un ensemble de fibres optiques de compensation en série valant la moyenne arithmétique des paramètres correspondants des différentes fibres optiques de compensation ayant été pondérés par les longueurs respectives desdites différentes fibres optiques de compensation,

le module présentant des pertes d'insertion IL exprimées en dB,

$$\text{avec } IL = \frac{D_{DCM}}{D_{DCF}} \cdot \alpha_{DCF} + \Gamma_{in} + \Gamma_{out} \text{ et avec } D_{DCM} = -680 \text{ ps/nm},$$

le module présentant un critère de non linéarité NLC représentant les effets de la phase non linéaire et étant exprimé en 10^{-6} km/W-dB ,

$$\text{avec } NLC = \frac{100 \cdot n_2 \cdot (1 - 10^{\frac{D_{DCM}}{10 \cdot FOM_{DCF}}})}{A_{eff} \cdot \alpha_{DCF} \cdot 10^{10}},$$

le module présentant un critère de qualité CQ exprimé en dB,

$$\text{avec } CQ = IL + 10 \log NLC,$$

le module présentant un critère de rapport qualité prix $CQ2$ exprimé en dB,

avec $CQ2 = CQ + B \log(FOM_{DCF})$ et avec $B=23$,

la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de
5 compensation en série présentant,

premièrement une dispersion chromatique moyenne inférieure à
-115 ps/nm-km,

deuxièmement, pour un facteur de mérite moyen donné, une atténuation
moyenne suffisamment élevée pour que d'une part le critère de qualité soit
10 inférieur à 18dB et d'autre part le critère de rapport qualité prix soit inférieur à
66.6dB.

17. Module selon la revendication 16, caractérisé en ce que la fibre
optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en
15 série présente, pour un facteur de mérite moyen donné, une atténuation moyenne
suffisamment élevée pour que le critère de qualité soit inférieur à 15dB.

18. Module selon la revendication 17, caractérisé en ce que
la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de
20 compensation en série présente, pour un facteur de mérite moyen donné,
une atténuation moyenne suffisamment élevée pour que le critère de
qualité soit inférieur à 13dB.

19. Module selon l'une quelconque des revendications 16 à 18,
25 caractérisé en ce que la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres
optiques de compensation en série présente, pour un facteur de mérite moyen
donné, une atténuation moyenne suffisamment élevée pour que le critère de
rapport qualité prix soit inférieur à 66.1dB.

20. Module selon la revendication 19, caractérisé en ce que la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente, pour un facteur de mérite moyen donné, une atténuation moyenne suffisamment élevée pour que le critère de rapport qualité prix soit inférieur à 5 65.6dB.

21. Module selon l'une quelconque des revendications 16 à 20, caractérisé en ce que la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente, pour un facteur de mérite moyen
10 donné, une atténuation moyenne suffisamment élevée pour que le critère de non linéarité, exprimé en 10^{-6} km/W-dB, soit inférieur à 7.5.

22. Module selon la revendication 21, caractérisé en ce que la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en
15 série présente, pour un facteur de mérite moyen donné, une atténuation moyenne suffisamment élevée pour que le critère de non linéarité, exprimé en 10^{-6} km/W-dB, soit inférieur à 6.5.

23. Module selon l'une quelconque des revendications 16 à 22,
20 caractérisé en ce que la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente un critère d'optimisation pour module COM, avec $COM = \frac{100 \cdot \alpha_{DCF} \cdot A_{eff}}{n_2 \cdot FOM_{DCF}}$ exprimé en 10^{10} dB²-W/s, qui est supérieur à 3.

24. Module selon la revendication 23, caractérisé en ce que le critère
25 d'optimisation pour module est supérieur à 4.

25. Module selon l'une quelconque des revendications 16 à 24, caractérisé en ce que la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres

optiques de compensation en série présente un facteur de mérite moyen compris entre 170 et 220 ps/nm-dB.

5 **26.** Module selon l'une quelconque des revendications 16 à 25, caractérisé en ce que la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente une atténuation moyenne supérieure à 1.1dB/km.

10 **27.** Module selon la revendication 26, caractérisé en ce que la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente une atténuation moyenne supérieure à 1.3dB/km.

15 **28.** Module selon l'une quelconque des revendications 16 à 27, caractérisé en ce que le module présente un critère de répartition des pertes CRP, avec $CRP = 1 - \frac{2IL}{CQ}$, qui est inférieur à 35%.

29. Module selon la revendication 28, caractérisé en ce que le critère de répartition des pertes est inférieur à 28%.

20 **30.** Module selon l'une quelconque des revendications 16 à 29, caractérisé en ce que la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente un rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique inférieur à 200nm.

25 **31.** Module selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la ligne optique de compensation est constituée d'une seule et même fibre optique reliant la borne d'entrée à la borne de sortie.



32. Module selon l'une quelconque des revendications 1 à 30, caractérisé en ce que la ligne optique de compensation est constituée de plusieurs fibres optiques de la même famille, c'est-à-dire soit plusieurs tronçons de la même fibre optique, soit plusieurs fibres optiques semblables entre elles aux tolérances de fabrication près.

33. Module selon l'une quelconque des revendications 1 à 30, caractérisé en ce que la ligne optique de compensation comprend plusieurs fibres optiques distinctes entre elles, et en ce que le domaine spectral d'utilisation comprend au moins deux bandes spectrales parmi les bandes spectrales S, C et L.

34. Dispositif d'amplification de signal et de compensation de dispersion chromatique comprenant successivement, un premier amplificateur (2) de signal, un atténuateur (3) de signal, un module de compensation (4) de dispersion chromatique selon l'une quelconque des revendications précédentes, un deuxième amplificateur (5) de signal.

35. Ligne de transmission comprenant successivement, une fibre optique de ligne monomode (1) destinée à transmettre des informations dans un domaine spectral d'utilisation, un dispositif (6) d'amplification de signal et de compensation de dispersion chromatique selon la revendication 34.

36. Procédé de conception d'un module de compensation de dispersion chromatique,
ledit module étant destiné à comporter,
un boîtier comprenant une borne d'entrée et une borne de sortie,
une ligne optique de compensation de dispersion chromatique comprenant une ou plusieurs fibres optiques monomodes de compensation de dispersion chromatique en série, ne comprenant aucune fibre optique multimode HOM, étant située dans le boîtier et reliant la borne d'entrée à la borne de sortie,

ledit module étant destiné à être introduit, par l'intermédiaire des bornes d'entrée et de sortie, dans une ligne de transmission comprenant une fibre optique de ligne monomode destinée à transmettre des informations dans un domaine spectral d'utilisation,

5 la borne d'entrée introduisant dans la ligne de transmission une perte d'entrée Γ_{in} exprimée en dB,

la borne de sortie introduisant dans la ligne de transmission une perte de sortie Γ_{out} exprimée en dB,

d'éventuelles connexions supplémentaires entre fibres optiques de
10 compensation introduisant ensemble dans la ligne de transmission une perte de connexion Γ_{inter} exprimée en dB,

la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présentant, à une longueur d'onde valant 1550nm, plusieurs paramètres moyens dont, un coefficient moyen d'atténuation α_{DCF}
15 exprimé en dB/km, une dispersion chromatique moyenne négative D_{DCF} exprimée en ps/nm-km, une pente de dispersion chromatique moyenne négative S_{DCF} exprimée en ps/nm²-km, un rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique valant D_{DCF}/S_{DCF} et étant exprimé en nm, un facteur de mérite moyen FOM_{DCF} valant $-D_{DCF}/\alpha_{DCF}$ et étant exprimé en ps/nm-dB, une surface
20 effective moyenne A_{eff} exprimée en μm^2 , un coefficient moyen n_2 du deuxième ordre de l'indice de réfraction en fonction de l'intensité exprimé en $10^{-20} m^2/W$,

le rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique valant le rapport entre la dispersion chromatique moyenne et la pente de dispersion chromatique moyenne,

25 le facteur de mérite moyen valant l'opposé du rapport entre la dispersion chromatique moyenne et le coefficient moyen d'atténuation,

le coefficient moyen d'atténuation dans le cas d'une unique fibre optique de compensation étant confondu avec le coefficient d'atténuation correspondant de ladite fibre optique unique de compensation, et le coefficient moyen
30 d'atténuation dans le cas d'un ensemble de fibres optiques de compensation en

série valant la somme entre d'une part la moyenne arithmétique des coefficients d'atténuation correspondants des différentes fibres optiques de compensation ayant été pondérés par les longueurs respectives desdites différentes fibres optiques de compensation et d'autre part le rapport entre la perte de connexion et
 5 la somme des longueurs desdites différentes fibres optiques de compensation,

chacun desdits autres paramètres moyens dans le cas d'une unique fibre optique de compensation étant confondu avec le paramètre correspondant de ladite fibre optique unique de compensation, et chacun desdits autres paramètres moyens dans le cas d'un ensemble de fibres optiques de compensation en série
 10 valant la moyenne arithmétique des paramètres correspondants des différentes fibres optiques de compensation ayant été pondérés par les longueurs respectives desdites différentes fibres optiques de compensation,

ledit module étant destiné à présenter des pertes d'insertion IL exprimées en dB,

15 avec $IL = \frac{D_{DCM}}{D_{DCF}} \cdot \alpha_{DCF} + \Gamma_{in} + \Gamma_{out}$ et avec D_{DCM} représentant l'opposé de la

dispersion cumulée de la fibre optique de ligne,

ledit module étant destiné à présenter un critère de non linéarité NLC représentant les effets de la phase non linéaire et étant exprimé en 10^{-6} km/W-dB,

$$\text{avec } NLC = \frac{100 \cdot n_2 \cdot (1 - 10^{\frac{D_{DCM}}{10 \cdot FOM_{DCF}}})}{A_{eff} \cdot \alpha_{DCF} \cdot 10^{\frac{\Gamma_{in}}{10}}},$$

20 ledit module étant destiné à présenter un critère de qualité CQ exprimé en dB,

avec $CQ = IL + 10 \log NLC$,

ledit procédé de conception comprenant une étape d'optimisation dudit module, ladite étape d'optimisation consistant à diminuer le critère de qualité, à
 25 facteur de mérite moyen choisi constant, en augmentant l'atténuation moyenne.

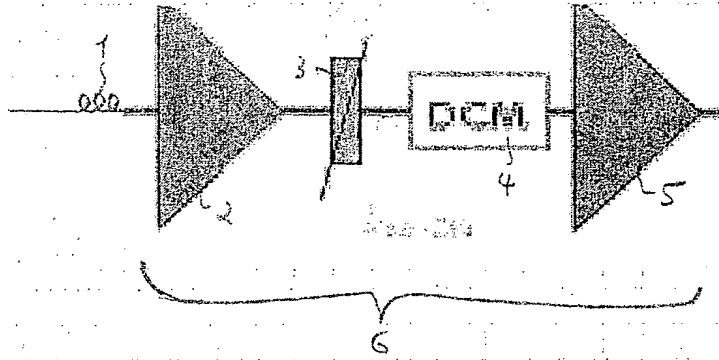


Fig 1

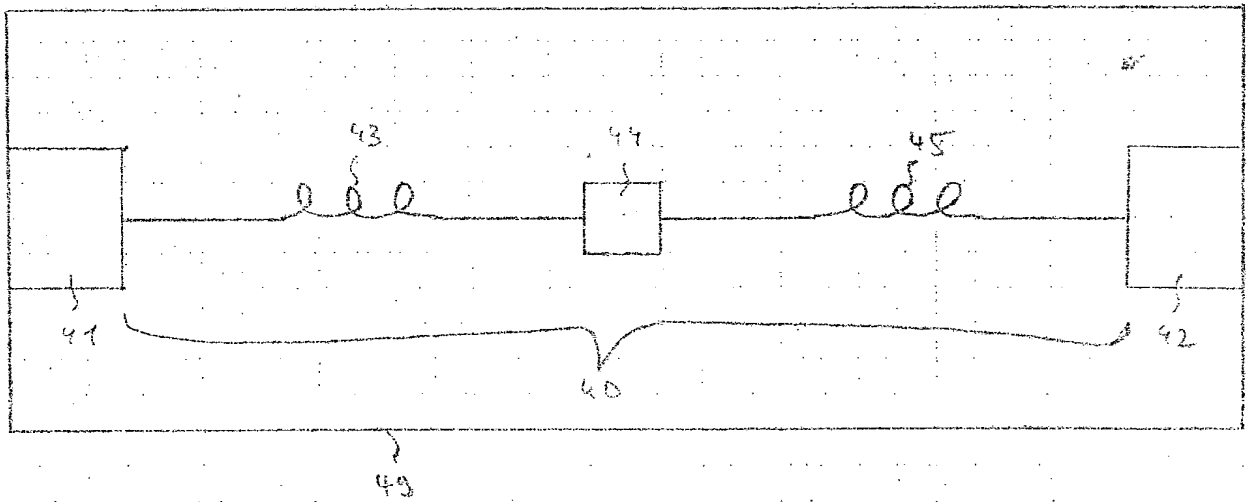


Fig 2

Modules	D_{DCM} (ps/nm)	D_{DCF} (ps/nm-km)	S_{DCF} (ps/nm ² -km)	D_{DCF}/S_{DCF} (nm)	α_{DCF} (dB/km)	FOM_{DCF} (ps/nm-dB)	Γ (dB)	IL (dB)	A_{eff} (μm^2)	n_2 ($10^{-20} m^2/W$)	NLC ($10^8 km/W-dB$)	CQ (dB)	CQ2 (dB)	COM ($10^6 dB-W/s$)	GRP (%)
A1	-1360	-95	-0,32	300	0,58	164	0,50	9,3	21	3	18,7	22,0	61,9	2,5	16%
A2	-1360	-95	-0,32	300	0,47	202	0,50	7,7	21	3	21,3	21,0	62,5	1,6	26%
N1	-1360	-130	-0,43	300	0,70	186	0,30	7,9	19	3	17,2	20,3	61,1	2,4	22%
N2	-1360	-200	-0,67	300	0,95	211	0,30	7,1	18	3	12,7	18,1	59,9	2,7	22%
N3	-1360	-300	-1,00	300	1,10	273	0,50	6,0	17	4	13,0	17,1	61,0	1,7	30%
N4	-1360	-300	-1,00	300	1,40	214	0,50	7,3	17	4	11,5	18,0	59,9	2,8	18%
B1	-1360	-125	-0,42	300	0,45	278	0,50	5,9	20	3	20,1	18,9	62,9	1,1	38%
B2	-1360	-250	-0,83	300	0,75	333	0,25	4,6	18	3,8	16,2	16,7	62,1	1,1	45%
C1	-1360	-85	-0,30	283	0,30	283	0,50	5,8	21	3,8	36,0	21,4	65,5	0,6	46%
C2	-1360	-150	-0,60	250	0,45	333	0,50	5,1	19	4	25,4	19,1	64,5	0,6	47%

Fig 3

Modules	D_{DCM} (ps/nm)	D_{DCF} (ps/nm-km)	S_{DCF} (ps/nm ² -km)	D_{DCF}/S_{DCF} (nm)	α_{DCF} (dB/km)	FOI_{DCF} (ps/nm-dB)	Γ (dB)	IL (dB)	A_{eff} (μm^2)	n_2 ($10^{-20} m^2/W$)	NLC ($10^{-6} km/W-dB$)	CQ (dB)	CQ2 (dB)	COM ($10^{10} dB-W/s$)	CRP (%)
N1	-680	-115	-0,75	154	0,90	128	0,50	6,3	15	3	14,0	17,8	66,2	3,5	28,9%
N2	-680	-160	-1,04	154	1,30	123	0,75	7,0	15	3	9,3	16,7	64,8	5,3	16,0%
N3	-680	-220	-1,43	154	1,20	183	0,75	5,2	15	3	8,1	14,3	66,3	3,3	27,0%
N4	-680	-300	-1,95	154	1,42	211	0,75	4,7	14	3	6,6	12,9	66,4	3,1	27,1%
N5	-680	-300	-1,95	154	1,50	200	0,75	4,9	14	3	6,5	13,0	66,0	3,5	24,9%
B1	-680	-230	-2,20	105	0,60	383	0,30	2,4	19	3	8,2	11,5	71,0	1,0	58,8%
B2	-680	-175	-3,19	55	0,60	292	0,52	3,4	15	3	12,3	14,3	71,0	1,0	52,7%
B3	-680	-145	-1,38	105	0,55	264	0,42	3,4	15	3	14,8	15,1	70,8	1,0	54,8%
B4	-680	-170	-1,62	105	0,75	227	0,29	3,6	19	3	9,8	13,5	67,7	2,1	47,0%
C1	-680	-85	-0,71	120	0,30	283	0,70	3,8	19	4	25,0	17,8	74,2	0,5	57,3%
C2	-680	-145	-1,38	105	0,50	290	0,70	3,7	15	4	19,0	16,5	73,2	0,6	54,7%
C3	-680	-230	-2,55	90	0,90	256	0,70	4,1	14	4	12,5	15,0	70,4	1,2	46,0%
C4	-680	-145	-1,45	100	0,64	228	0,55	4,1	18	4	15,3	15,9	70,2	1,3	48,7%
C5	-680	-290	-2,90	100	0,90	322	0,50	3,1	15,7	4	9,7	13,0	70,7	1,1	52,1%
C6	-680	-337	-3,75	90	0,85	396	0,55	2,8	15	4	13,8	14,2	74,0	0,8	60,4%
C7	-680	-376	-3,75	100	0,94	400	0,45	2,6	13,1	4	9,5	12,4	72,2	0,8	58,0%

Fig 4

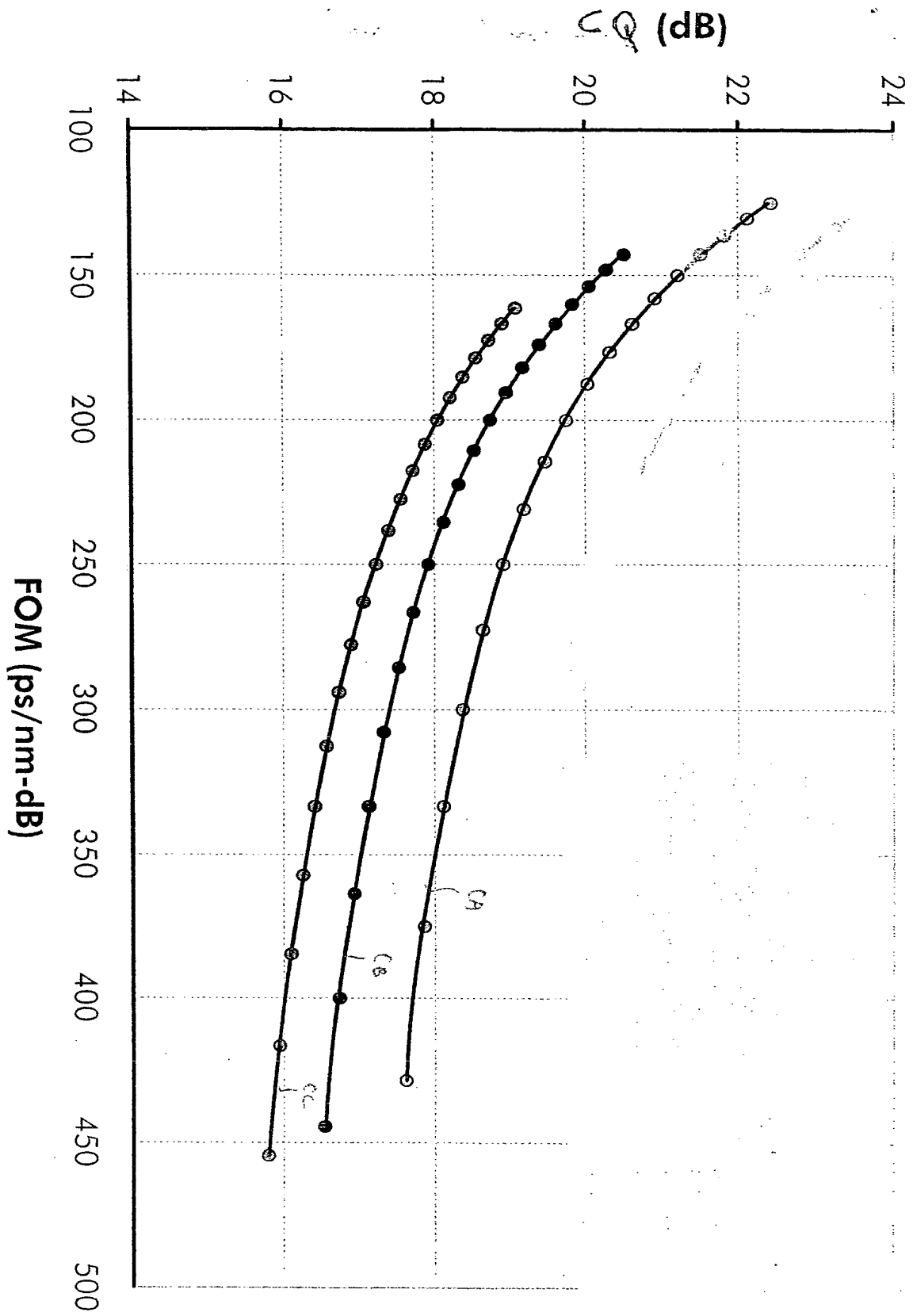


Fig 5

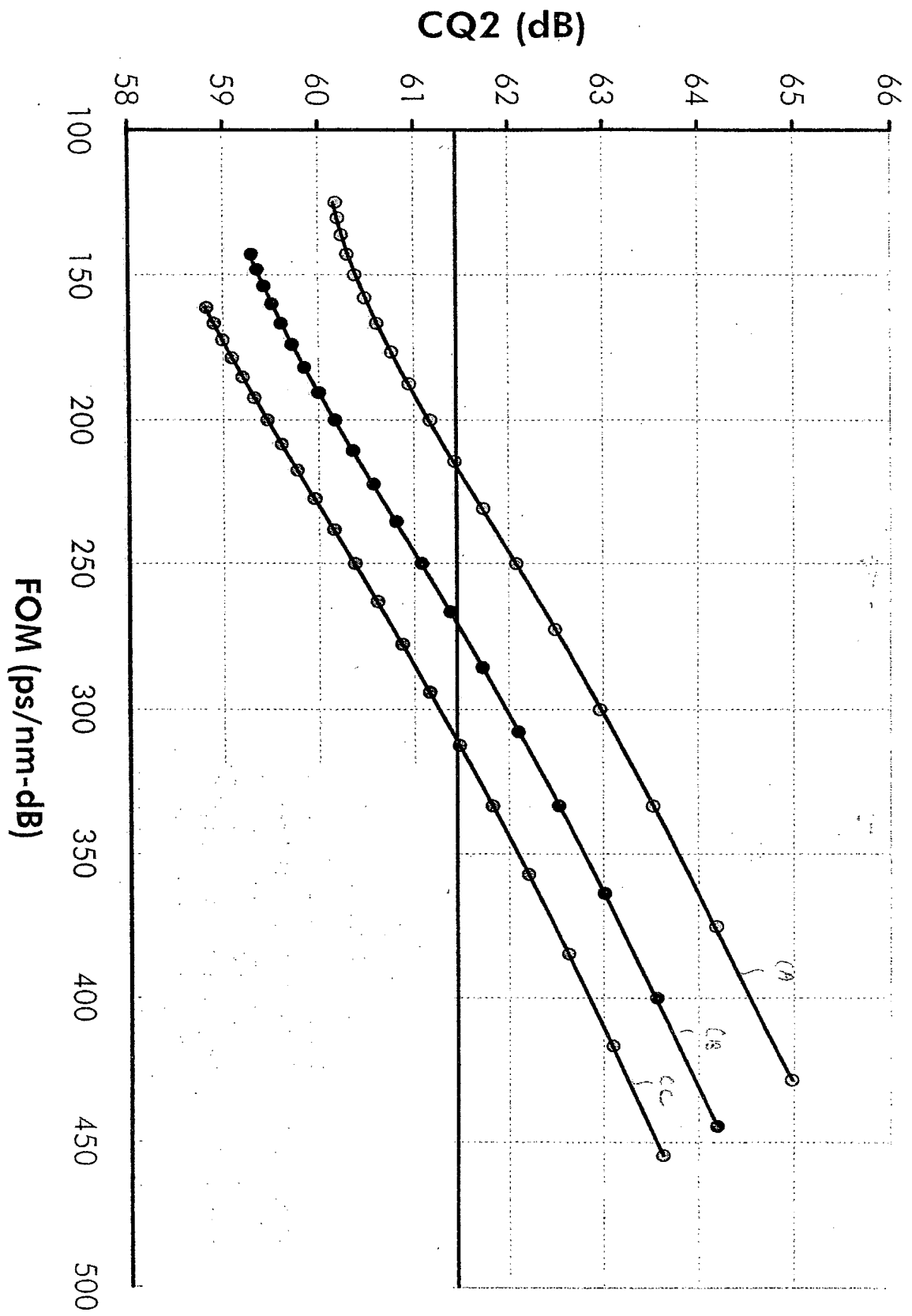


Fig 6

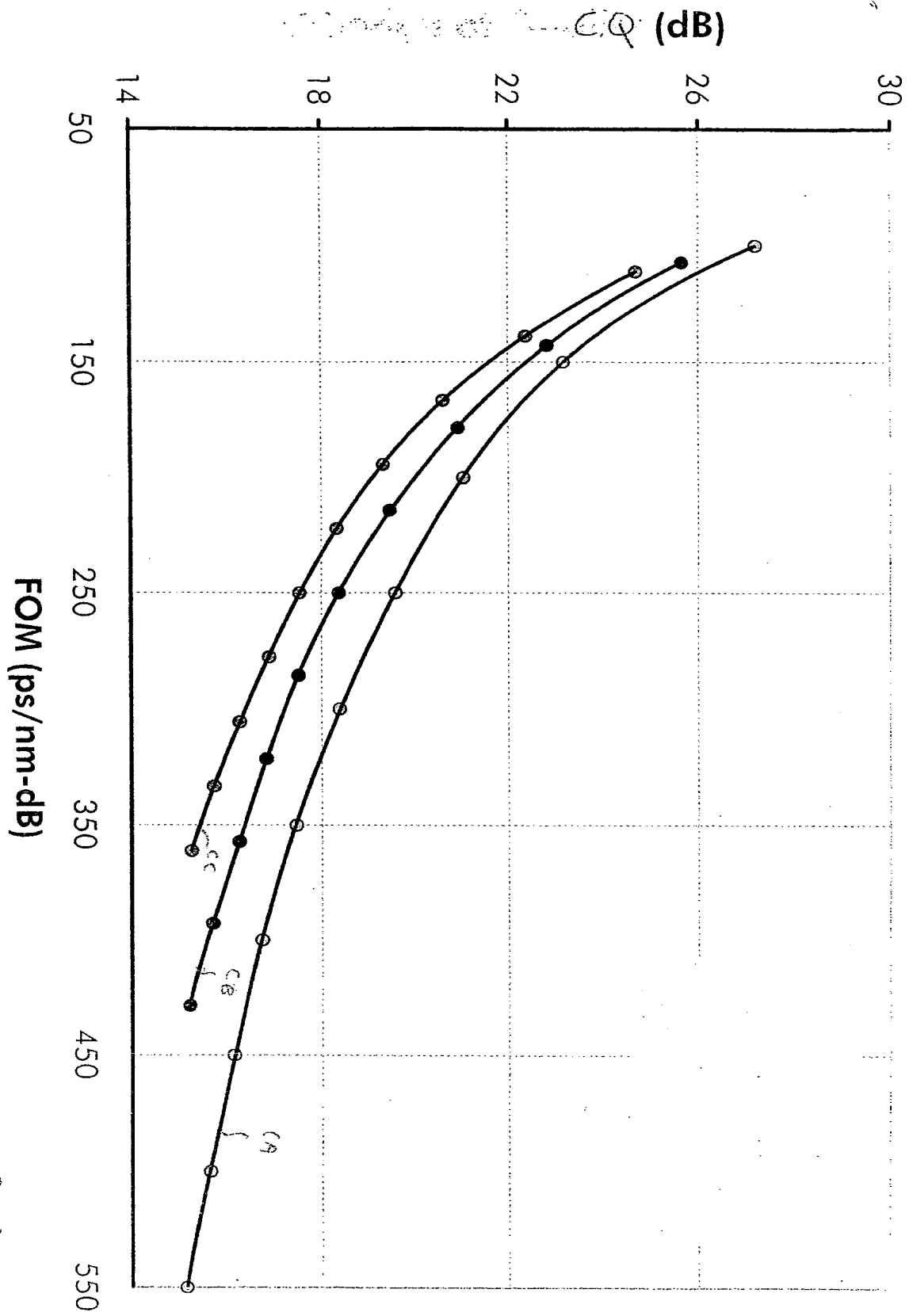


Fig 3

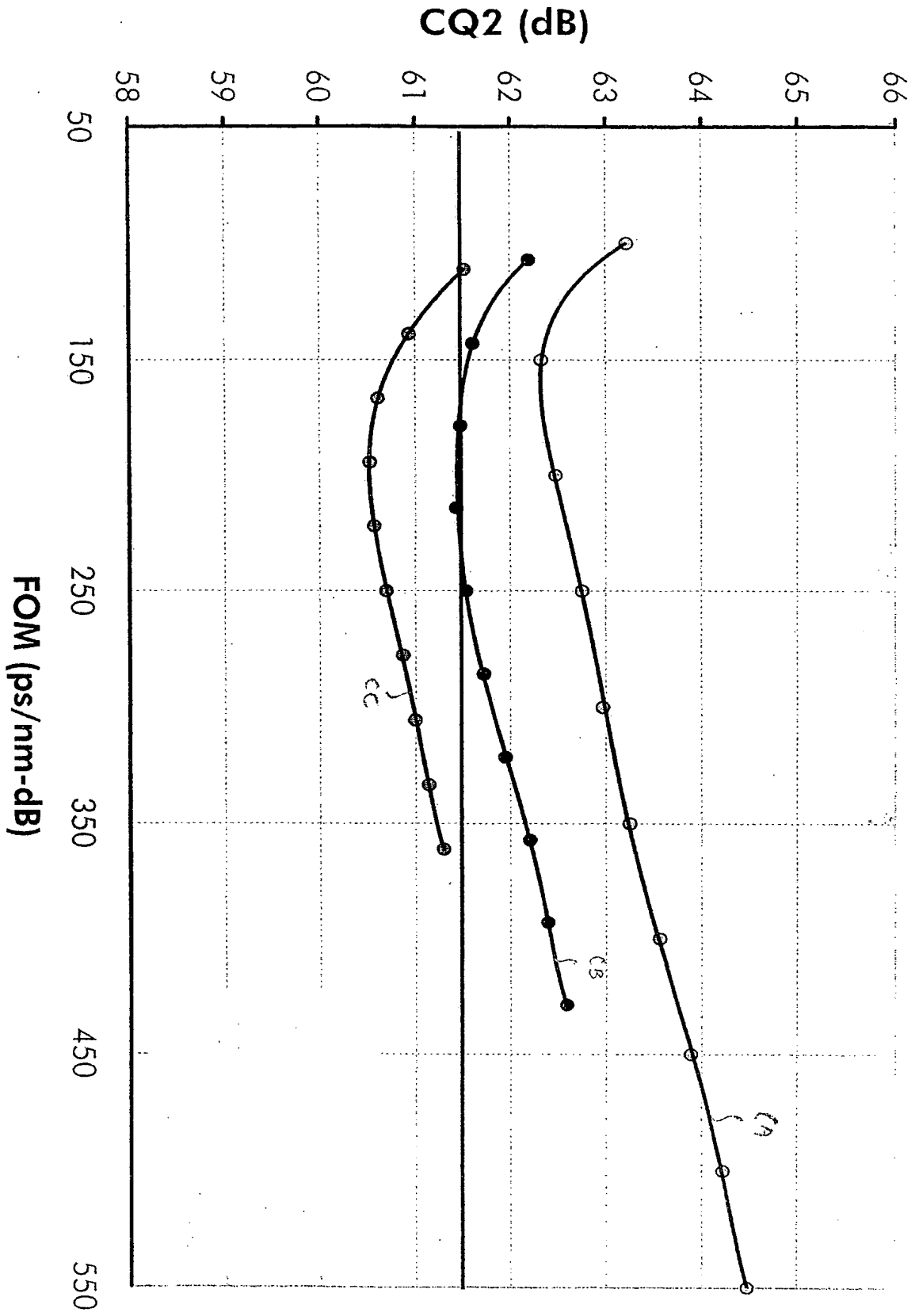


Fig 8

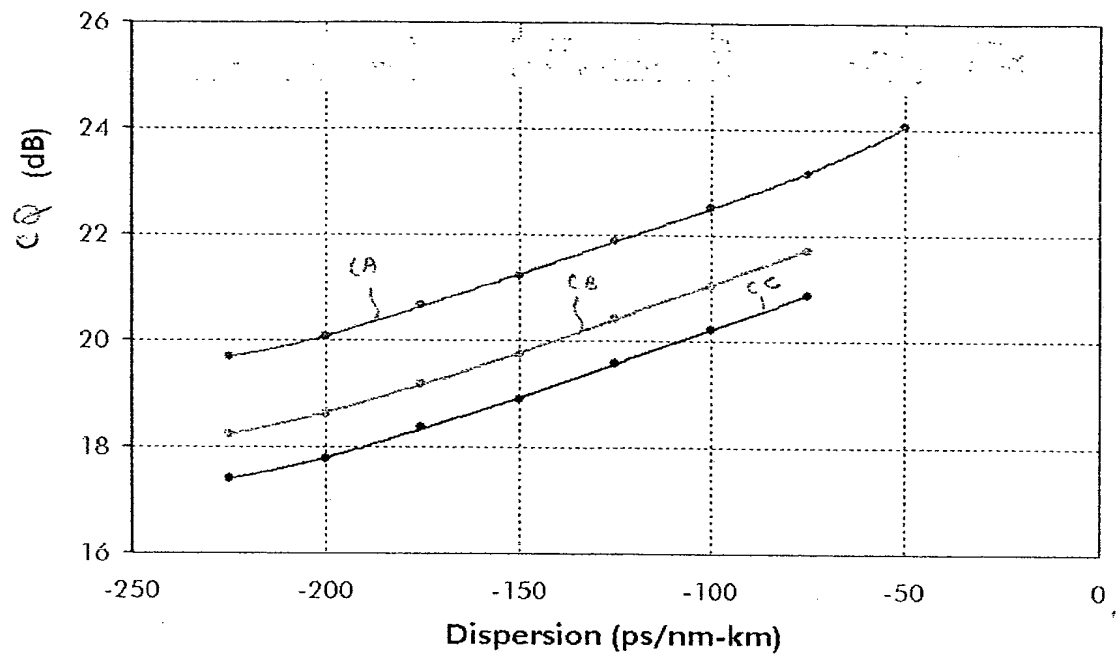


Fig 9

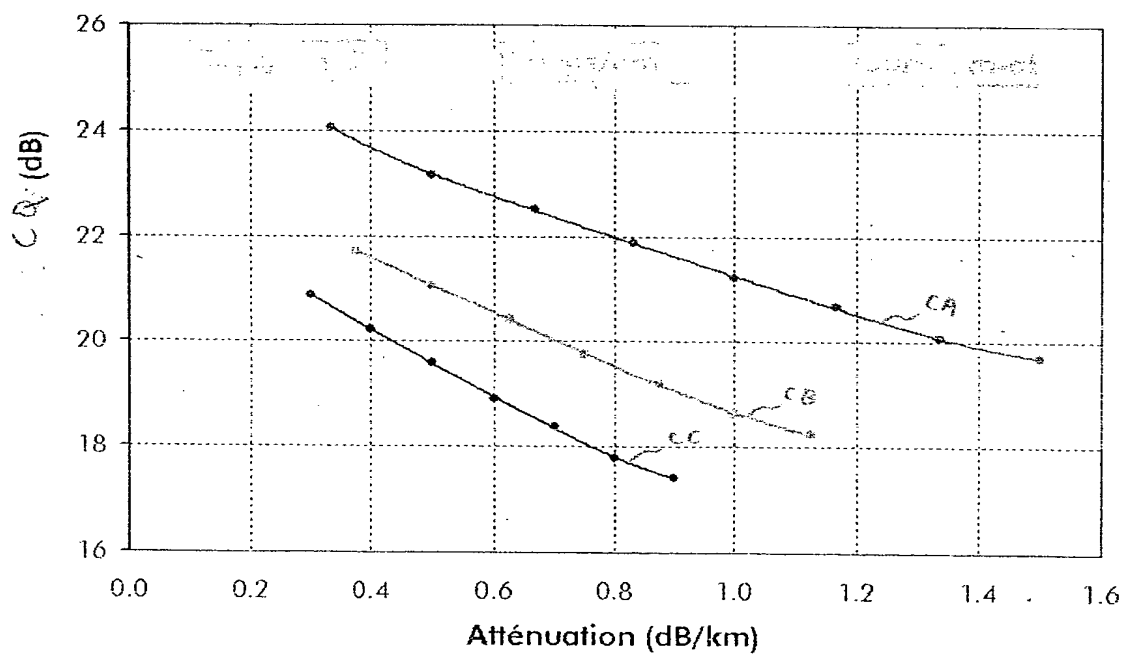


Fig 10



DÉPARTEMENT DES BREVETS

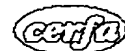
26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



N° 11 235*02

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° .1./2..

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 260895

Vos références pour ce dossier (facultatif)		105169/RV/OFF/TPM	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		0305223 12	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) MODULE DE COMPENSATION DE DISPERSION CHROMATIQUE			
LE(S) DEMANDEUR(S) : Société anonyme ALCATEL			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		SILLARD	
Prénoms		Pierre	
Adresse	Rue	2 SQUARE RAPHAËL RÉSIDENCE ORSAY	
	Code postal et ville	78150 LE CHESNAY, FRANCE	
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom		DANY	
Prénoms		Bruno	
Adresse	Rue	1 ALLÉE DES VIGNERONS RÉSIDENCE DES ARTS BÂTIMENT E12	
	Code postal et ville	78600 MAISONS LAFFITTE, FRANCE	
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom		BERTAINA	
Prénoms		Alain	
Adresse	Rue	25, RUE D'ALEMBERT	
	Code postal et ville	75014 PARIS, FRANCE	
Société d'appartenance (facultatif)			
DATE ET SIGNATURE(S) DU PROPRIÉTAIRE DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		24 avril 2003 Régis VIGAND 	



DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

BREVET D'INVENTION**CERTIFICAT D'UTILITÉ**

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



N° 11 235 02

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 2./2.

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DE 113 VI / 260891

Vos références pour ce dossier (facultatif)		105169/RV/OFF/TPM	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		0306223 12	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) MODULE DE COMPENSATION DE DISPERSION CHROMATIQUE			
LE(S) DEMANDEUR(S) : Société anonyme ALCATEL			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		GORLIER	
Prénoms		Maxime	
Adresse	Rue	18, RUE FOURCROY	
	Code postal et ville	75017	PARIS, FRANCE
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
DATE ET SIGNATURE(S) XX DES DEMANDEURS XX DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		24 avril 2003 Régis VIGAND 	